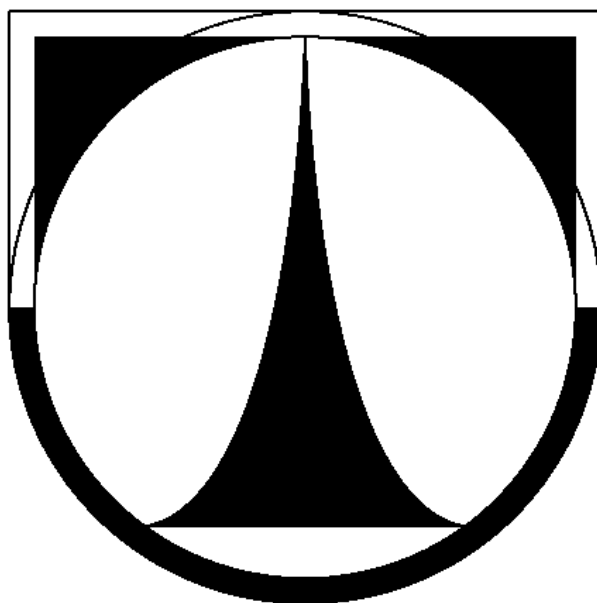


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**  
**FAKULTA STROJNÍ**



KATEDRA MATERIÁLU

2011

Jindřich Roudnický

# **TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

## **FAKULTA STROJNÍ**



### **KATEDRA MATERIÁLU**

Studijní obor: 3911R018 Materiály a technologie

Studijní program: B2341 Strojírenství

Zaměření: Materiálové inženýrství

### **VLIV OČKOVÁNÍ NA VNITŘNÍ KVALITU ODLITKŮ**

### **INOCULATION IMPACT ON THE INTERNAL QUALITY OF CASTINGS**

**KMT – B – 174**

**Jindřich Roudnický**

Vedoucí práce: prof. Ing. Petr Louda, CSc.

Konzultant: Daniel Šťastný, ŠKODA AUTO a.s.

Počet stran: 55

Počet tabulek: 18

Počet obrázků: 41

Počet grafů: 7

Datum: 23. 5. 2011

## **Orig. zadání**

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## FAKULTA STROJNÍ



### KATEDRA MATERIÁLU

#### **Anotace**

Předmětem této bakalářské práce je zjištění struktury odlitků z očkované litiny s lupínkovým grafitem.

Teoretická část charakterizuje litiny, jejich rozdělení, značení a dále se zabývá litinou s lupínkovým grafitem.

V praktické části byly analyzovány metalurgické postupy při výrobě brzdových bubnů ve firmě ŠKODA AUTO a.s. Měření hodnot tvrdosti, tvaru, rozložení a velikosti grafitu, zjišťování struktury zkušebních odlitků z hlediska výskytu feritu a perlitu bylo provedeno na TU Liberec.

#### **Klíčová slova**

litiny, litina s lupínkovým grafitem, očkování, brzdové bubny, grafit, kovová matrice

#### **Annotation**

The subject of this work is structure identification of castings made from inoculated cast iron with flake graphite.

The theoretical part describes the cast irons, their classification, marking and deals with cast iron with flake graphite furthermore.

In practical part were analyzed metallurgical processes at manufacturing of brake drums in Škoda Auto Inc. The measurement of hardness values, shape, distribution and size of graphite, structure determination of testing castings from point of view ferrite and pearlite occurrence were performed at Technical University of Liberec.

#### **Keywords**

cast iron, cast iron with flake graphite, inoculation, brake drums, graphite, metal matrix

### **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 23. 5. 2011

Podpis

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Petru Loudovi, CSc., prof. Ing. Ivě Nové, CSc., konzultantům Ivaně Baborákové a Danielu Štastnému, technologům ŠKODA AUTO a.s. za odbornou pomoc při zpracování tématu a ochotu množství poskytnutých rad.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Teoretická část.....</b>	<b>11</b>
2.1	Historie litin.....	11
2.2	Litiny .....	12
2.3	Rozdělení litin .....	13
2.3.1	Bílá litina .....	13
2.3.2	Grafitické litiny .....	13
2.4	Strukturní složky grafitických litin .....	15
2.4.1	Grafit .....	15
2.4.2	Základní kovová hmota .....	17
2.5	Litina s lupínkovým grafitem .....	19
2.6	Systém označování litin podle EN .....	21
2.6.1	Zkrácené označování .....	21
2.6.2	Číselné označování.....	22
2.7	Krystalizace a překrystalizace litin .....	23
2.7.1	Mechanismus krystalizace podeutektické a eutektické GJL .....	23
2.7.2	Krystalizace podeutektických litin .....	23
2.7.3	Překrystalizace litiny s lupínkovým grafitem.....	24
2.8	Vliv očkovaní na krystalizaci litin, druhy očkovaadel.....	25
2.9	Použití GJL na brzdové bubny .....	26
<b>3</b>	<b>Praktická část .....</b>	<b>27</b>
3.1	Metalurgické postupy ve firmě ŠKODA AUTO a.s. ....	27
3.1.1	Používaná očkovaadla a formovací směs.....	28
3.2	Hodnocení kvality odlitků ve ŠKODA AUTO a.s. ....	29
3.3	Příprava zkušebních odlitků .....	29
3.4	Měření tvrdosti metodou podle Brinella .....	32
3.5	Metalografická analýza vzorků .....	32
3.5.1	Příprava vzorků .....	33
3.5.2	Hodnocení grafitu.....	35
3.5.3	Zkoumání kovové matrice.....	35
<b>4</b>	<b>Naměřené hodnoty .....</b>	<b>36</b>
4.1	Tvrdost odlitků podle Brinella .....	36
4.1.1	Měření na 1. odlitku (bez očkovaadla).....	36
4.1.2	Měření na 2. odlitku (očkovaadlo SB 5 GSK - 0,05 % hmot. tav.) .....	37
4.1.3	Měření na 3. odlitku (očkovaadlo SB 5 GSK - 0,25 % hmot. tav.) .....	38
4.1.4	Měření na 4. odlitku (očkovaadlo CSF 10 GSK – 0,05 % hmot. tav.) .....	39
4.1.5	Měření na 5. odlitku (očkovaadlo CSF 10 GSK – 0,25 % hmot. tav.) .....	40
4.1.6	Porovnání tvrdosti u odlitků 1-5.....	41
4.2	Tvar, rozložení a velikost grafitu .....	41
4.2.1	Vzorky z 1. odlitku (bez očkovaadla) .....	41
4.2.2	Vzorky z 2. odlitku (očkovaadlo SB 5 GSK - 0,05 % hmot. tav.).....	42
4.2.3	Vzorky z 3. odlitku (očkovaadlo SB 5 GSK – 0,25 % hmot. tav.) .....	43
4.2.4	Vzorky z 4. odlitku (očkovaadlo CSF 10 GSK – 0,05 % hmot. tav.).....	44
4.2.5	Vzorky z 5. odlitku (očkovaadlo CSF 10 GSK – 0,25 % hmot. tav.).....	45
4.2.6	Porovnání velikosti grafitu u odlitků 1-5 .....	47

4.3	Kovová matrice .....	47
4.3.1	Vzorky z 1. odlitku (bez očkovadla) .....	47
4.3.2	Vzorky z 2. odlitku (očkovadlo SB 5 GSK - 0,05 % hmot. tav.).....	48
4.3.3	Vzorky z 3. odlitku (očkovadlo SB 5 GSK – 0,25 % hmot. tav.) .....	49
4.3.4	Vzorky z 4. odlitku (očkovadlo CSF 10 GSK – 0,05 % hmot. tav.).....	50
4.3.5	Vzorky z 5. odlitku (očkovadlo CSF 10 GSK – 0,25 % hmot. tav.).....	51
<b>5</b>	<b>Diskuse.....</b>	<b>53</b>
<b>6.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>54</b>
<b>7.</b>	<b>Použitá literatura.....</b>	<b>55</b>



# 1 Úvod

Železo (lat. ferrum, zn. Fe) je v současné době nejdůležitějším průmyslovým kovem, zpracovávaným do nejrůznějších podob a využívaným v mnoha jiných průmyslových oborech. Tento prvek periodické soustavy je čtvrtým nejrozšířenějším v zemské kůře. Vyskytuje se v ryzí formě jako tzv. meteorické železo (má zvýšený obsah niklu) nebo čisté železo v zemském jádru. V přírodě se železo vyskytuje v oxidických a sulfidických rudách. Jedná se o magnetit (magnetovec - oxid železatoželezitý  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), siderit (ocelek – uhličitan železnatý  $\text{FeCO}_3$ ), pyrit (křez železný – disulfid železnatý  $\text{FeS}_2$ ), limonit (hnědel – oxid železitý  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ ), hematit (krevel – oxid železitý  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Železo se vyrábí redukcí (odkysličováním) železných rud ve vysokých pecích jako surové železo, jeho zkujňováním (snížení množství nečistot) vzniká ocel. Protože ocel nelze odlévat do složitějších forem, část surového železa se zpracovává na litinu.

Nejdéle oceňovanou vlastností kovů byla jejich pevnost a možnost tvarování plastickou deformací – kujnost a s tím spojená houževnatost. Ne náhodou byly podle používaných kovů nazvány i epochy lidstva – doba měděná, bronzová a železná. Objem výroby železa a kovů nás na začátku 3. tisíciletí přesvědčuje o tom, že doba železná zdaleka ještě neskončila.

Prvními kovy, které se člověk naučil používat, byly zlato, stříbro a měď. Ty se v přírodě nacházeli v elementárním stavu.

Technologie získávání kovů z rud pochází z Egypta a Mezopotámie, z období kolem r. 4000 př.n.l. Prvním kovem byla měď, vyrobená redukcí malachitu (uhličitan měďnatý) na dřevěném uhlí. Asi o 1000 let později byl připraven bronz (slitina mědi a cínu). Objev bronzu měl ve své době mimořádný význam, neboť tento materiál je asi třikrát tvrdší než samotná měď.

Vyvinula se kupelační metoda rafinace kovů (přečištění tavením v peci, kde kov přichází do styku s palivem), kterou se získávalo především čisté zlato a stříbro. Také bylo objeveno jak odlévat měď, zlato a stříbro do forem, uměla se vyrábět i slitina zlata a stříbra (elektrum).

První železné předměty, vyráběné tavbou železných rud, pocházejí z období kolem r. 3000 – 2000 př.n.l. z oblasti Egypta, Anatolie (poloostrov Malá Asie, část dnešního Turecka), Mezopotámie (území dnešního Iráku) a údolí řeky Indus (dnešní Pákistán, Afghánistán a západní Indie).

Ve starověkém Řecku, nejstarší západní civilizaci, se začalo užívat železo kolem r. 1050 př.n.l. a vyráběli se z něho nástroje a zbraně. Železo velmi rychle vytlačilo bronz (železo bylo tvrdší a existovala velká naleziště železné rudy) a stalo se nejpoužívanějším kovem. Zpracování železa vyžadovalo mnohem větší teplotu (1300 – 1350 °C) než u bronzu (asi 1090°C). Do pece z cihel se přikládalo dřevěné uhlí a železná ruda. Ke zvýšení teploty v peci se oheň rozdmýchal kozím měchem. Žhavé železo se po vytažení z pece muselo okamžitě zpracovat kladivem, aby se zbavilo nečistot.

První šachtové pece pro tzv. přímou metodu výroby kujného železa zavedli kolem r. 500 př.n.l. Kelové. Železná ruda se redukovala v nízkých pecích dřevěným uhlím za teplot kolem 1200 °C. První vysoká pec na dřevěné uhlí pochází ze sev. Evropy a byla postavena v pol. 15. století.

Veliký zlom v hutní výrobě přineslo zavedení koksu. Nástup průmyslové revoluce počátkem 19. stol. v Anglii přinesl nový zájem o nejdůležitější konstrukční materiál – železo. Rozvoj nových vědních oborů umožnil výrobu novými výrobními postupy (výroba oceli pudlováním, bessemerací a Thomasovým procesem, příprava legovaných ocelí, válcování plechu a tažení drátu) a zkvalitnění sortimentu ocelových výrobků a litiny.

Úbytek celosvětových zásob surovin a následné zvyšování jejich cen vedou k používání materiálu, umožňujícího dosažení vyšších užitných vlastností. Mezi ně patří i grafitické litiny, zejména nejstarší materiál na odlitky na bázi železa – litiny s lupínkovým grafitem (šedá litina). Kromě toho, že jsou ekonomicky výhodné, mají velmi dobré technologické vlastnosti, především slévatelnost a zabíhavost. Vhodnými metalurgickými zásahy a podmínkami při tuhnutí a chladnutí se dají dosáhnout vynikající mechanické vlastnosti. [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19]

Tato bakalářská práce hodnotí změny struktury litiny s lupínkovým grafitem vlivem očkování.

Teoretická část se zaměřuje na grafitické litiny, konkrétně na litinu s lupínkovým grafitem, její chemické složení a použití.

Praktická část se zabývá výrobní technologií litiny s lupínkovým grafitem a změnou struktury a vlastností této litiny v závislosti na druhu a množství očkovačů.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Historie litin

První litinové odlitky pocházejí z Číny z období asi 700 let př.n.l., ale litiny nejsou velmi starým konstrukčním materiálem. Řada metalurgických postupů u tak starého materiálu byla objevena a začala se používat v nedávné době.

Odlitky z litiny bylo možné vyrábět tehdy, když se železo redukované z rudy mohlo vypouštět z pece. Toho se dosáhlo tím, že pomocí dmýchadel, poháněných vodní energií vznikla ve vysokých pecích tak vysoká teplota, že se železo velmi obohatilo uhlíkem, čímž se snížil bod tavení.

K prvním litinovým odlitkům, známým v Evropě patří dělové koule z r. 1372, vyrobené v Augsburgu. Výroba litiny přetavením surového železa se použila už v letech 1450 – 1500 v Německu a Itálii.

V r. 1794 vynalezl anglický průmyslník John Wilkinson kuplovnu a od té doby se litina stala významným materiálem. Nejdříve se litina používala na výrobu zbraní, zejména dělových hlavních, hmoždířů a střeliva (dělové koule), až později byla použita pro mírové účely, hlavně umělecké odlitky.

K největšímu rozvoji odlévání litiny došlo v druhé polovině 19. stol. především proto, že pro rozvíjející se průmysl a stavebnictví byla litina materiálem, který měl na tehdejší dobu velkou pevnost a snadno se přizpůsobil všem tvarovým požadavkům. Na konci 19. stol. tak došlo k přechodu slévárnictví z uměleckého řemesla na strojírenský obor. Litina byla používána prakticky všude, kde ji bylo možno použít - masivní podstavce strojů, konstrukce čerpadel, lisů, tiskařských i textilních strojů, litinové vodovodní řady a trubky, litinové sociální zařízení (klozetové mísy, umyvadla, sprchovací nádoby), litinová kamna, žehličky, věšáky na šaty, litinové sloupy, lampy apod.

Rozšířením kuploven a vynálezem kelímkové indukční pece v r. 1916 se staly slévárny nezávislými na hutích a to umožnilo vyrobit kvalitní litinu.

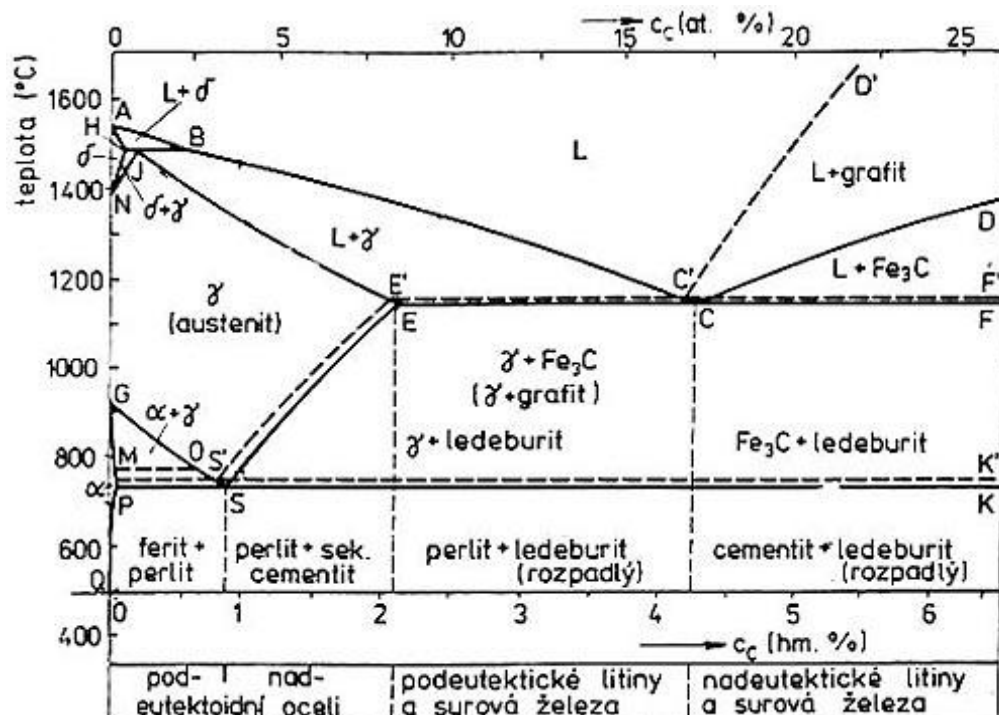
V dalším vývoji převládala snaha zvyšovat mechanické a jiné užité vlastnosti litinových odlitků ovlivňováním průběhu tuhnutí a výsledné struktury litin (hlavně charakteru vyloučeného grafitu).

Grafitické litiny zaznamenaly hlavně v posledních desetiletích prudký rozvoj, takže v současnosti známe rozmanitý sortiment litin, které mají vynikající vlastnosti a široké použití. Mezi ně patří i litina s lupínkovým grafitem, která se vyznačuje dobrými útlumovými vlastnostmi, velmi dobrou pevností v tlaku. Vedle těchto konstrukčních vlastností se litiny vyznačují nízkou cenou a dobrými technologickými vlastnostmi (např. slévatelností a zabíhavostí).

Při slévárenské výrobě tvarových odlitků získáváme poměrně velmi snadno a jednoduše tvar požadovaného výrobku. Základní pracovní postup spočívá v tom, že roztavený kov odlitý do slévárenské formy, přijme tvar dutiny formy a současně v dutině tuhne. Tyto odlitky se vyznačují členitostí, tvarovou složitostí a mají všestranné uplatnění např. v automobilovém, leteckém i spotřebním průmyslu. [3, 4, 6]

## 2.2 Litiny

Vyrábějí se přetavováním surovin (surové železo, ocelový odpad, litinový vratný materiál a litinové zlomky) v kuplovnách, elektrických indukčních nebo obloukových pecích. Litiny jsou slitiny železa, uhlíku, křemíku a dalších prvků (Mn, P, S aj.). Obsah uhlíku v litinách je vyšší než jeho maximální rozpustnost v austenitu, tj. 2,11 % C při teplotě 1147 °C (dáno bodem E rovnovážného diagramu železo – uhlík – obr. 2.1). V soustavách Fe-C tvoří uhlík samostatnou fází a může se vylučovat v různých formách, které přímo ovlivňují strukturu a vlastnosti litiny.



Obr. 2.1 Rovnovážný diagram Fe-C, plné čáry – metastabilní soustava  
čárkované – stabilní soustava [4]

Krystalizace taveniny může proběhnout podle stabilního diagramu Fe-C, kde se uhlík vylučuje ve formě grafitu (čistý uhlík), nebo krystalizace probíhá rychleji, podle metastabilního diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C, kde se uhlík vylučuje jako cementit (karbid železa Fe<sub>3</sub>C). Průběh krystalizace litin závisí na chemickém složení taveniny (obsah C a grafitotvorných prvků - Si, P nebo prvků, podporujících tvorbu cementitu – Mn, S), na rychlosti tuhnutí a chladnutí, na zárodečném stavu taveniny (vliv očkování, modifikace, teploty a doby přehřátí taveniny). [1, 2]

## 2.3 Rozdělení litin

Základní rozdělení litin vychází ze struktury, která je tvořena primární fází a eutektikem. Při tuhnutí podle stabilního systému vzniká grafitické eutektikum, které je tvořeno austenitem a uhlíkem, vyloučeným v některé z morfologických forem grafitu. Tyto litiny se nazývají litiny grafitické. Při tuhnutí podle metastabilního systému je eutektikem ledeburit. Ve struktuře není přítomen volný grafit a takové litiny se nazývají bílé nebo karbidické. Přejít mezi bílou litinou a grafitickou tvoří tzv. maková litina (přechodová litina). Tato litina obsahuje jak grafitické, tak metastabilní eutektikum (ledeburit - cementit). Maková litina se obvykle pokládá za nežádoucí. [3]

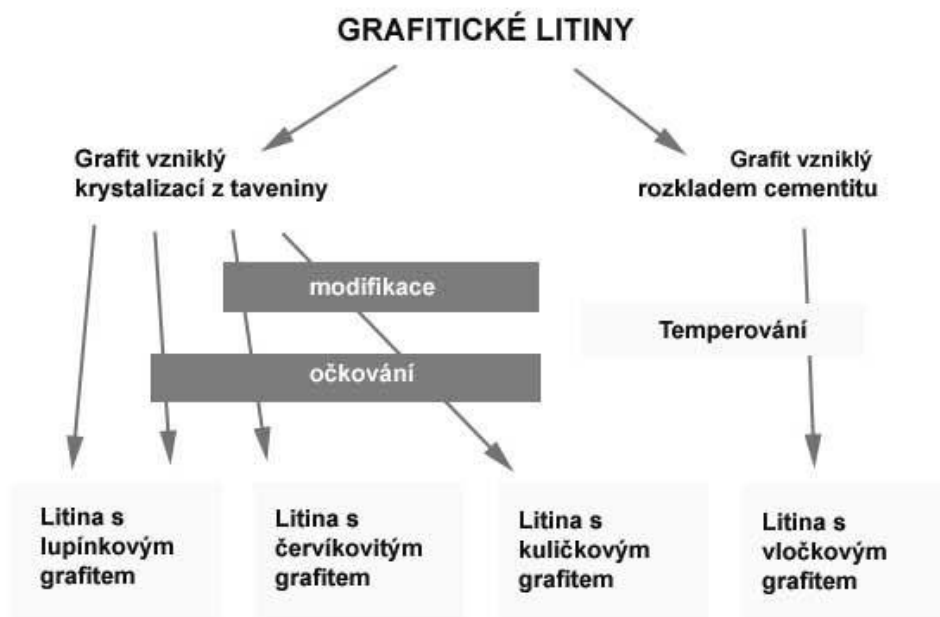
### 2.3.1 Bílá litina

Struktura bílé litiny podléhá tuhnutí podle metastabilní rovnováhy a je tvořena směsí cementitu a perlitu, který vznikl eutektoidní přeměnou ledeburitického austenitu a primárního austenitu ( austenit vyloučený z taveniny u podeutektických litin). Struktura tohoto druhu vzniká při malém obsahu grafitotvorných prvků (C, Si, Al, Ti, Ni, Zr, aj.) a současně zvýšeném obsahu karbidotvorných prvků (Mn, Cr, W, W, Mo, Ce, B, V, aj.). nebo při vyšší rychlosti ochlazování taveniny ve formě.

Bílá litina má značnou tvrdost, ale i značnou křehkost, vyvolanou přítomností cementitu (karbid železa  $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Tvrdost se pohybuje od 350 do 500 HB, která vzrůstá podílem cementitu ve struktuře. Odolnost proti opotřebení je velmi vysoká, vyrábějí se z ní např. lopatky pískometů nebo metacích tryskačů. Tvrdost těchto litin lze ještě zvýšit martenzitickým kalením. [1, 5]

### 2.3.2 Grafitické litiny

Struktura těchto litin je tvořena základní kovovou hmotou (matricí), v níž je přítomen grafit (vázaný grafit). Na vlastnosti grafitických litin má vliv druh základní kovové matrice (feritická, feriticko-perlitická, perlitická), množství, tvar, velikost a rozložení grafitu. Tvar a rozložení grafitu se hodnotí podle normy ČSN EN ISO 945 (nahrazuje a doplňuje ČSN 42 0461). Podle geometrie vyloučeného grafitu lze grafitické litiny rozdělit na tři velké skupiny: a) litinu s lupínkovým grafitem (GJL), b) litinu s kuličkovitým grafitem (GJS), c) litinu s červíkovitým grafitem (GJV).



Obr. 2.2 Rozdělení grafitických litin [2]

Litina s lupínkovým grafitem (dříve označovaná jako šedá litina) obsahuje grafit ve tvaru prostorových útvarů, které na metalografickém výbrusu mají tvar lupínků. Délka lupínků je podstatně větší než jejich tloušťka, konec lupínků je ostrý.

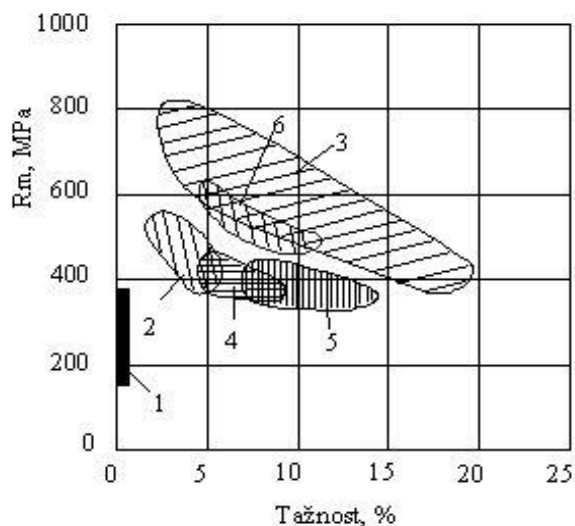
Litina s kuličkovým grafitem (dříve nazývaná jako tvárná litina) obsahuje grafit ve formě kuliček.

U litiny s červíkovitým grafitem (dříve nazývaná jako vermikulární litina) má grafit podobnou morfologii jako lupínkový. Oproti GJL jsou útvary grafitu kratší, tlustší a jejich konec je zaoblený.

Temperovaná litina (GJM) se dělí na litinu s bílým lomem (GJMW) a s černým lomem (GJMB). Grafit v této litině má tvar vloček.

Grafitické litiny se vyznačují dobrými útlumovými vlastnostmi, jedná se především o GJL, proto se z této litiny vyrábí lože obráběcích strojů. Dále se využívá útlumových vlastností u velkých bloků motorů, kde je potřeba i vyšší pevnost. Lupínky grafitu na druhou stranu způsobují v kovové matici vrubové účinky a tím je litina citlivá na namáhání v tahu. V tomto směru jsou příznivější kuličky grafitu, které méně narušují strukturu litiny. Mezi další výhody grafitických litin patří nízká výrobní cena a dobré technologické vlastnosti jako je tavitelnost (teplota tání litin cca 1147 °C) a zabíhavost. Lze odlévat odlitky s tloušťkou stěny několik mm. Smrštění při krystalizaci je nepatrné, protože grafit při krystalizaci zvětšuje objem.

Vlastnosti grafitických litin jsou závislé na mnoha faktorech, jak již bylo uvedeno výše. Charakteristické mechanické vlastnosti jednotlivých druhů grafitických litin jsou znázorněny na obr. 2.3. [1, 2, 3, 5, 6]



1. litina s lupínkovým grafitem
2. litina s červíkovitým grafitem
3. litina s kuličkovitým grafitem
4. temperovaná litina s bílým lomem
5. temperovaná litina s černým lomem
6. temperovaná perlitická litina

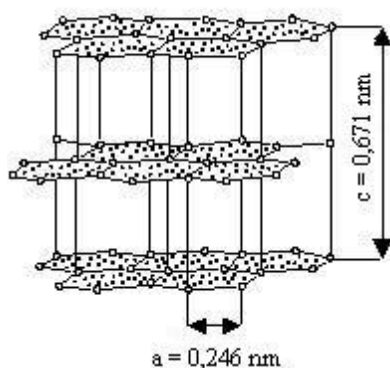
Obr. 2.3 Mechanické vlastnosti grafitických litin [2]

## 2.4 Strukturní složky grafitických litin

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2.2, struktura grafitických litin je tvořena grafitem a základní kovovou hmotou. Proto je nutno litiny posuzovat komplexně.

### 2.4.1 Grafit

Grafit je krystalická forma uhlíku. Krystalizuje v hexagonální soustavě, má velmi dobrou tepelnou vodivost, pevnost a tvárnost jsou nepatrné ve srovnání s kovovou maticí litiny.

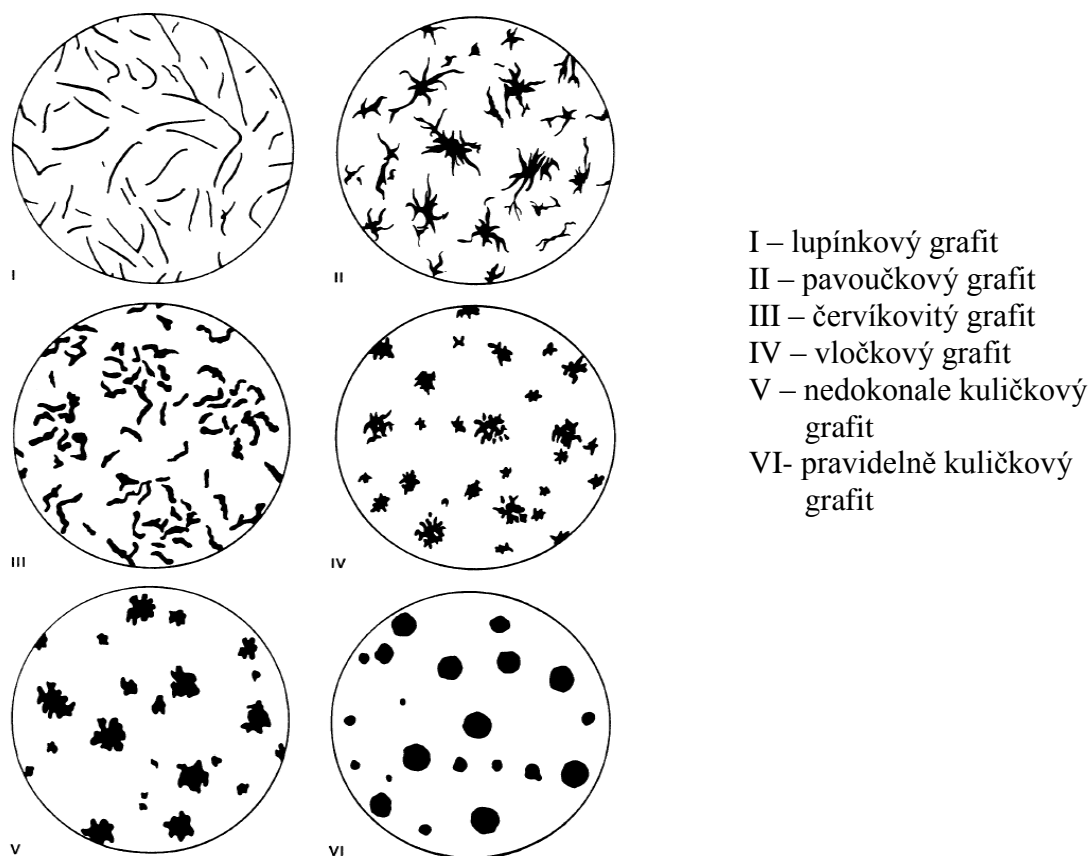


Obr. 2.4 Krystalová mřížka grafitu [2]

Grafit má velký vliv na vlastnosti litin, svojí přítomností zmenšuje aktivní průřez kovové hmoty litiny a způsobuje vznik místních koncentrací napětí (vrubové účinky), ale přispívá k útlumovým vlastnostem litin, zejména litiny s lupínkovým grafitem. Vzniká při eutektické přeměně litiny podle stabilní rovnováhy a zůstává ve struktuře litiny bez ohledu na to, zda další přeměna probíhala podle stabilní nebo metastabilní rovnováhy.

Při krystalizaci za normálních podmínek se grafit vylučuje ve formě lupínků. Přidáním určitého množství modifikátoru do taveniny dojde k vyloučení jiného tvaru (morfologie) grafitu. Morfologie vyloučeného grafitu tvoří plynulý přechod od lupínkového grafitu až po kuličkový grafit.

Tvar grafitu se hodnotí podle normy ČSN EN ISO 945, jak již bylo napsáno v kapitole č. 2.2.2. Tato norma zařazuje grafit do šesti tříd – obr. 2.5.

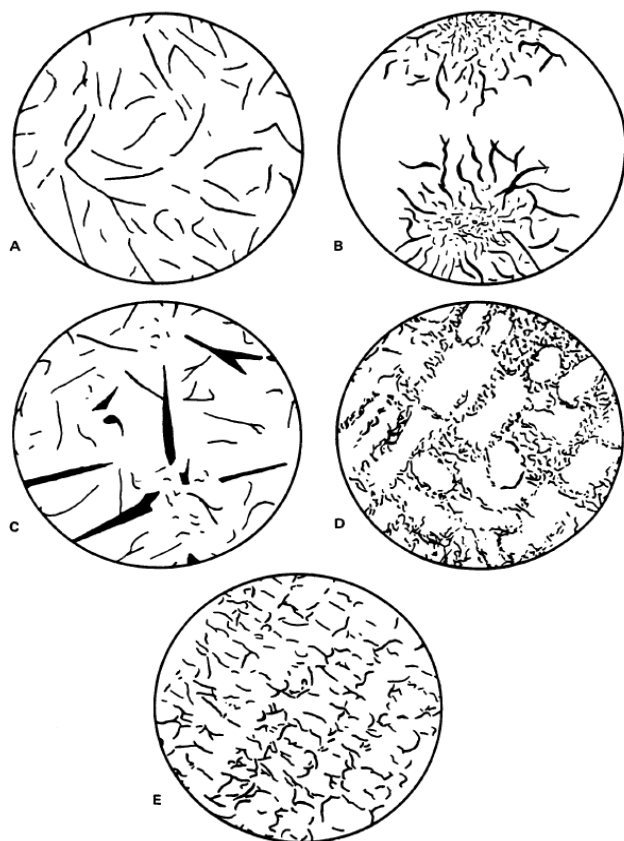


Obr. 2.5 Tvar grafitu [3]

Dále je důležitá velikost a rozložení grafitu. Ten může být ve struktuře rozložen ve formě pravidelných, stejnoměrně velkých útvarů, nebo nerovnoměrně, kdy tvoří útvary nesteréjně velké nebo místně nahromaděné. Rozložení grafitu se hodnotí podle etalonové řady, rozdělené do pěti tříd – obr. 2.6. Velikost grafitu se určuje pomocí jiného etalonu, rozděleného do osmi tříd – tab. 2.1.

Tvar a rozložení grafitu mají zásadní vliv na mechanické vlastnosti. Nejvýhodnější z hlediska vlastností je rovnoměrné rozložení grafitu se stejnoměrnou velikostí. [1, 3, 6]





- A – rovnoměrné  
 B – růžicovité  
 C – smíšené  
 D – mezidendritické  
     neusměrněné  
 E – mezidendritické  
     usměrněné

Třída velikosti	Velikost grafitu [μm]
1	nad 1000
2	500-1000
3	250-500
4	120-250
5	60-120
6	30-60
7	15-30
8	do 15

Obr. 2.6 Rozložení grafitu [3]

Tab. 2.1 Velikost grafitu [8]

## 2.4.2 Základní kovová hmota

Základní kovová hmota (matrice) litiny je důležitou součástí struktury litiny, která vzniká transformací austenitu dle daných podmínek. Struktura matrice závisí na chemickém složení, rychlosti ochlazování, stavu krystalizačních zárodků a tepelném zpracování. V nelegovaných litinách může být matrice podle podmínek transformace austenitu tvořena feritem a perlitem. Podle podílu obou složek se struktura označuje jako feritická, feriticko-perlitická nebo perlitická. V legovaných nebo tepelně zpracovaných litinách může matrice obsahovat austenit, martenzit, bainit nebo komplexní karbidy. Ve struktuře litin se mohou současně vyskytovat i další strukturní součásti jako je cementit a steadit.

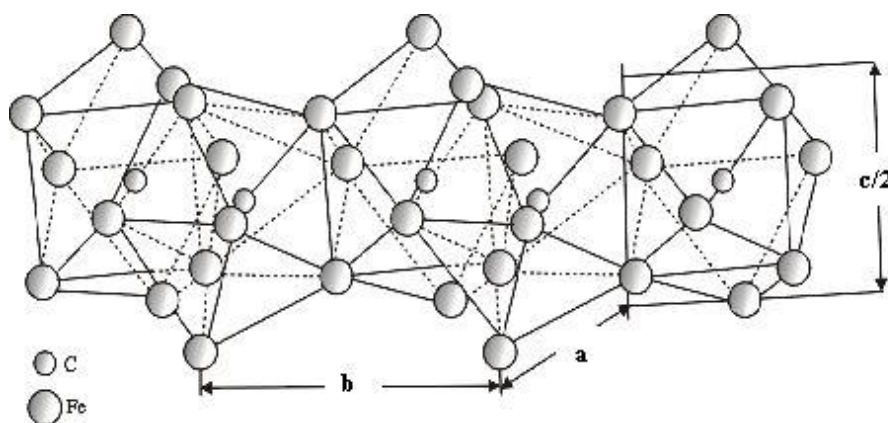
Ferit vzniká při eutektoidní transformaci austenitu podle stabilního diagramu a je tvořen kubickou prostorově středěnou mřížkou  $\alpha$ -Fe. Ferit je měkký, tvárný, má relativně nízkou pevnost, dobře obrobitelný. Ve struktuře litin zvyšuje tvárné vlastnosti a vrubovou houževnatost. Na vlastnosti feritu mají vliv legující a doprovodné prvky, které zvyšují tvrdost a pevnost. Prvky jako je Ni, Cr a Mn zvyšují houževnatost feritu, naopak Si houževnatost snižuje.

Perlit je eutektoid, vzniklý rozpadem austenitu podle metastabilního diagramu. Hlavní fází perlitické přeměny je cementit, vedle něhož pak vznikají lamely feritu. Z jednoho austenitického zrna vznikne několik perlitických zrn s rozdílnou orientací lamel. Vzniklý perlit může být lamelární nebo globulární. V litinách se obvykle objevuje v lamelárním tvaru.

Ve srovnání s feritem má perlit vyšší pevnost a tvrdost, čím větší množství perlitu v matici, tím se zvyšují mechanické vlastnosti litiny a také roste odolnost proti opotřebení.

Austenit je tuhý roztok uhlíku v železe  $\gamma$ , je tvořen kubickou plošně středěnou mřížkou. Austenit je měkký, tvárný, odolný proti korozi a působení vysokých teplot. Za normálních teplot se vyskytuje pouze v litinách, legovaných niklem (Ni) nebo v tepelně zpracovaných litinách jako zbytkový austenit.

Cementit je typická intermediální fáze s obsahem 6,68 % C. Krystalizuje v orthorombické soustavě, v litině vzniká rozpadem ledeburitu. Cementit je nežádoucí strukturní složkou litin, protože se vyznačuje vysokou tvrdostí (660 až 850 HB), křehkostí a téměř žádnou tvárností. Při vyšším obsahu ve struktuře se litina stává neobrobitelnou.



Obr. 2.7 Krystalová mřížka cementitu [2]

Ledeburit je eutektikum v metastabilní soustavě Fe-Fe<sub>3</sub>C, obsahuje 4,3 % uhlíku a je tvořen austenitem a ledeburitickým cementitem. Ledeburit je jednou ze základních složek bílých (karbidických) litin. V grafitických litinách se objevuje v místě s rychlým odvodem tepla. Toto místo je označováno jako tzv. zákalka.

Martenzit se objevuje u tepelně zpracovaných litin (kalení), vzniká bezdifúzním rozpadem austenitu. Vyznačuje se vysokou tvrdostí (až nad 1000 HV) a křehkostí.

Bainit vzniká přímo po odlití u litin, legovaných molybdenem (Mo) a niklem (Ni) nebo při tepelném zpracování. Litiny s takto vzniklou strukturou mají vysokou pevnost a tvrdost při zachování poměrně dobrých plastických vlastností.

Steadit je ternární (potrojně) fosfidické eutektikum, které je tvořeno směsí železa, karbidu železa a fosfidu železa (Fe-Fe<sub>3</sub>C-Fe<sub>3</sub>P). Ve struktuře se vyskytuje při vyšším obsahu fosforu (0,3 % P) ve formě „pavučinek“ na hranicích zrn. Steadit je tvrdý, velmi křehký a významně snižuje dynamické vlastnosti litin. Tato struktura je u litin nežádoucí, zejména u litiny s kuličkovým grafitem. [1, 2, 3, 6]

## 2.5 Litina s lupínkovým grafitem

Litiny s lupínkovým grafitem (dříve označována jako šedá litina) jsou poměrně levným konstrukčním materiálem s dobrými slévárenskými vlastnostmi a to především zabíhavostí a relativně malým sklonem ke smršťování. Struktura litiny s lupínkovým grafitem se skládá ze základní kovové matrice (feritická, feriticko-perlitická, perlitická) a grafitu.

Grafit se vylučuje ve tvaru dlouhých lupínků způsobující vrubové účinky v kovové matrici. Tato litina se vyznačuje velmi nízkou plasticitou a houževnatostí, nemá téměř žádnou tažnost. Pevnost v tahu je v závislosti na množství feritu v základní kovové hmotě a na tvaru grafitu v rozmezí 150 až 350 MPa. Litiny s větším obsahem feritu v kovové matrici a s hrubšími lupínky grafitu mají nižší pevnost v tahu. Pevnost v tlaku je 3krát až 4krát větší než pevnost v tahu a je podstatně méně ovlivněna tvarem, velikostí a rozložením grafitu. Pokud vyžadujeme vyšší mechanické vlastnosti, základní kovová hmota by měla být perlitická. Velmi vhodný je i jemně vyloučený lupínkový grafit. Litina s lupínkovým grafitem je málo chemicky odolná proti působení kyselin, mnohem lépe odolává hydroxidům. Mezi její velké přednosti patří schopnost útlumu vibrací.

Odlitky z litiny s lupínkovým grafitem o stejném chemickém složení mají rozdílné hodnoty mechanických vlastností závislé na tloušťce stěny. Tlusté stěny chladnou pomaleji než tenké, proto se v nich vykristalizuje hrubší grafit. V oblasti s tenkou stěnou se může vyskytnout bílé místo tzv. zákalka (tvrdé, těžko obrobitelné). Aby výsledná struktura a mechanické vlastnosti jednotlivých částí odlitků z litiny nebyly závislé na tloušťce stěn a rychlosti ochlazování, přidá se určité množství očkovačů do taveniny před odlitím. Očkováním se ovlivňuje krystalizace grafitu. Cílem je, aby uhlík vykristalizoval ve tvaru jemně rozptýleného lupínkového grafitu.

Pro konstrukční účely se používá především litina podeutektického složení, které má 2,5 až 4 % C, 1,7 až 2,5 % Si, 0,5 až 1,0 % Mn, 0,2 až 0,6 % P a maximálně 0,15 % S. Nejdůležitějším prvkem je Si, který snižuje teplotu tání litiny a zvyšuje její tekutost. Přítomnost Si snižuje koncentraci uhlíku v eutektiku i eutektoidu a má vliv na polohu jednotlivých rovnovážných teplot ve stabilním i metastabilním diagramu Fe-C. Pro posouzení účinku křemíku a dalších prvků na koncentraci uhlíku v eutektiku a také podíl grafitu v matrici litiny, se používá uhlíkový ekvivalent  $C_E$  nebo stupeň eutektičnosti  $S_C$ .

Uhlíkový ekvivalent je např. vyjádřen vztahem:

$$C_E = \% C + 0,3 \% Si + 0,3 \% P \quad (2.1)$$

Stupeň eutektičnosti určen např. podle rovnice:

$$S_C = \% C / (4,23 - 0,3 \% Si - 0,3 \% P) \quad (2.2)$$

kde značí: % C – obsah uhlíku  
% Si – obsah křemíku  
% P – obsah fosforu

Obě tato kritéria slouží k rychlému zjištění, zda je uvažovaná litina:

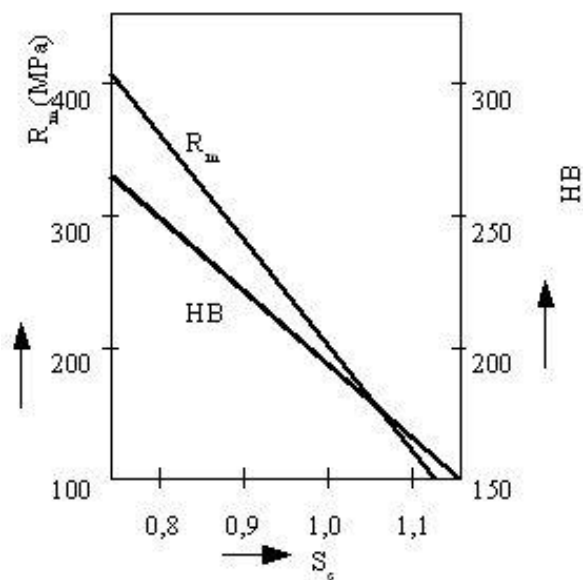
- a) podeutektická ( $C_E < 4,3$ ,  $S_E < 1$ )
- b) eutektická ( $C_E = 4,3$ ,  $S_E = 1$ )
- c) nadeutektická ( $C_E > 4,3$ ,  $S_E > 1$ )

Pomocí stupně eutektičnosti (nutné znát chemické složení litiny) lze vypočítat pevnost v tahu  $R_m$ , tvrdost HB nebo Youngův modul pružnosti  $E$  litiny s lupínkovým grafitem pomocí vztahů (graficky znázorněné na obr. 2.8):

$$R_m = 1006 - 800 \cdot S_E \text{ [MPa]} \quad (2.3)$$

$$HB = 465 - 270 \cdot S_E \quad (2.4)$$

$$E = (R_m / HB) \cdot 10^5 \text{ [MPa]} \quad (2.5)$$



Obr. 2.8 Závislost pevnosti v tahu a tvrdosti litiny s lupínkovým grafitem na  $S_C$  [5]

Litina s lupínkovým grafitem se používá pro výrobu drobných litinových odlitků např. víček, držáků a konzol, ale kvalitnější litiny (s vyššími mechanickými vlastnostmi) se používají na výrobu bloků a hlav velkých spalovacích motorů. Dále se uplatňují pro výrobu brzdových kotoučů a bubnů automobilů, vložek válců, zdvihátek a vahadel spalovacích motorů automobilů. [1, 5, 6, 7]

## 2.6 Systém označování litin podle EN

Na označování litin v Evropské unii navazuje jednotný systém národních norem ČSN EN 1560, který používá dva způsoby označování:

1. zkrácené označení podle mechanických vlastností nebo chemického složení
2. číselné označení

### 2.6.1 Zkrácené označování

Označování podle mechanických vlastností je základní formou používanou u nelegovaných litin. Označení litiny podle toho systému obsahuje 5 až 6 písemných znaků. Kromě hlavních úvodních znaků normy EN-GJ obsahuje ještě písmena označující tvar grafitu, strukturu základní matrice a mechanické vlastnosti, zejména minimální hodnotu  $R_m$  případně minimální hodnotu tažnosti. Zkrácené označení může být doplněno o znak, který popisuje způsob výroby zkušebního vzorku nebo předepsané hodnoty nárazové práce včetně teploty, při které byla zkouška provedena.

#### Popis značek:

Úvodní znaky normy: EN – evropská norma  
GJ – litina

Tvar grafitu (5. písmeno): L – s lupínkovým grafitem  
S – s kuličkovým grafitem  
M – s vločkovým grafitem  
V – s červíkovitým grafitem  
H – ledeburitická (bílá litina)  
X – se speciální strukturou

Struktura matrice (6. písmeno, není-li nutné, značka se nepoužije):

A – austenit  
F – ferit  
P – perlit  
M – martenzit  
L – ledeburit  
G – kaleno  
T – kaleno a popouštěno (zušlechtění)  
B – s černým lomem (temperovaná litina)  
W – s bílým lomem (temperovaná litina)

Minimální hodnota  $R_m$  (1. číslo): - udává se pevnost v MPa

Minimální tažnost (2. číslo, neznačí se při GJL a GJV): - udává se hodnota v %

Výroba zkušebních vzorků: S – odděleně litá zkušební tyč  
U – přilítý zkušební vzorek  
C – zkušební vzorek vyříznutý z odlitku

Teplota zkoušky: RT – teplota okolí  
LT – nižší teplota

**Např.: EN-GJS-400-18S-LT** – Litina s kuličkovým grafitem s minimální pevností 400 MPa, minimální tažností 18 %, zkušební vzorek byl odděleně litý (S), teplota zkoušení rázem v ohybu proběhla za nižší teploty (LT).

Litinu je možné označit i podle tvrdosti. Místo  $R_m$  se uvede znak pro metodu tvrdosti (HB – tvrdost podle Brinella, HV – tvrdost podle Vickerse, HR – tvrdost podle Rockwella) a číselná hodnota tvrdosti (např. EN-GJL-HB155).

Pro legované litiny je výhodnější označení podle chemického složení. Číselná část označení začíná znakem X, následuje obsah uhlíku v 0,01 %, chemické značky přísadových prvků a jejich průměrné obsahy v %. Např. označení EN-GJL-XNiMn 12-3, jedná se o litinu s 12 % Ni a 3 % Mn, bez udání obsahu uhlíku. [2, 3]

## 2.6.2 Číselné označování

Číselné označení litin se skládá ze 4 písmen a 4 číslic. Za úvodní zkratkou EN-J se uvádí znak tvaru grafitu jako u zkráceného označení. Číselná část označení obsahuje číslo popisující hlavní uvedené vlastnosti litiny, ve střední části dvojmístné číslo, které označuje jednotlivé materiály (předepsaná hodnota vlastnosti je uvedena v příslušné normě) a číslo přiřazující zvláštní požadavky na jednotlivé materiály.

### Popis značek:

Uvedená vlastnost litiny (1. číslice):

- 1 – pevnost v tahu
- 2 – tvrdost
- 3 – chemické složení
- 0, 4, 9 - rezerva

Zvláštní požadavky:

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 0 – žádné                              | 5 – nárazová práce za snížené teploty |
| 1 – odděleně litý zkušební vzorek      | 6 – předepsaná svařitelnost           |
| 2 – přilítý zkušební vzorek            | 7 – tepelně nezpracovaný odlitek      |
| 3 – zkušební vzorek vyřezaný z odlitku | 8 – tepelně zpracovaný odlitek        |
| 4 – nárazová práce za teploty okolí    | 9 – specifické požadavky              |

**Např.: EN-JL2020** – Litina s lupínkovým grafitem s tvrdostí min. 175 HB.

**EN-JL1010** – Litina s lupínkovým grafitem s minimální pevností 100 MPa. [2, 3]

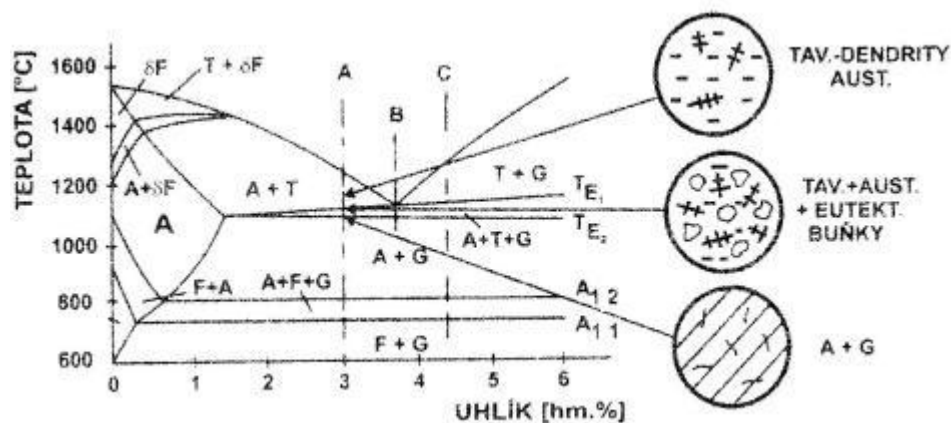
## 2.7 Krystalizace a překrystalizace litin

Vlastnosti litin výrazně určuje jejich struktura, která se vytváří během krystalizace a překrystalizace. Mimo jiné závisí na dalších přísadách, z nichž je velmi důležitý křemík (obsah křemíku cca 0,3 – 4 %, nejčastěji 2 %). Takto vytvořenou litinu potom považujeme jako potrojnou (ternární) slitinu Fe – C – Si, kterou popisuje ternární rovnovážný diagram. Vzhledem k obtížnosti sestavení tohoto diagramu se používá tzv. pseudobinární diagram pro konstantní obsah křemíku (obsahy Fe a C jsou proměnné).

Příklad tohoto diagramu pro 2 % obsah Si je na obr. 2.9. Vlivem křemíku se v tomto diagramu místo jedné konstantní teploty vyskytuje interval eutektických teplot  $T_{E1} - T_{E2}$ . Eutektoidní přeměna probíhá také v teplotním intervalu  $A_{11} - A_{12}$ . Křemík rovněž snižuje teplotu tavení litiny a tím zvyšuje její tekutost. Interval eutektoidních teplot se s rostoucím obsahem křemíku rozšiřuje a posouvá k vyšším teplotám.

Z uvedeného diagramu vyplývá, které fáze odpovídají grafitické litině při určité teplotě a chemickém složení.

V podstatě existují dvě hypotézy mechanismu krystalizace litin. Podle první se tvoří eutektikum austenit – grafit přímo z taveniny, podle druhé se vytváří eutektikum austenit – cementit a teprve pak dochází k vylučování grafitu. [1, 2]



Obr. 2.9 Pseudobinární rovnovážný diagram Fe – C – Si [1]

### 2.7.1 Mechanismus krystalizace podeutektické a eutektické GJL

Krystalizací litiny rozumíme v podstatě vznik fází, vznikajících z taveniny, která při ochlazování dosáhne teploty likvidu. Krystalizace končí, když tavenina dosáhne eutektickou teplotu  $T_{E1}$ . Při teplotách nižších (nebereme v úvahu krystalizaci steaditu) tj. při eutektoidní teplotě (v intervalu těchto teplot) probíhá eutektoidní přeměna austenitu (překrystalizace). Výsledkem všech probíhajících přeměn je struktura litiny, tvořená grafitem a maticí. [1, 2]

### 2.7.2 Krystalizace podeutektických litin

Postup tuhnutí čili krystalizace podeutektických GJL probíhá ve dvou etapách, primární krystalizace a eutektická krystalizace (přeměna).

V první etapě se vytváří na krystalizačních zárodcích dendrity austenitu, které rostou až do počátku druhé etapy.

V druhé etapě krystalizuje grafitické eutektikum, vytváří se a rostou eutektické buňky, které jsou též ovlivňovány rychlostí chladnutí taveniny.

Celý průběh krystalizace, vyznačené na obr. 2.9 (chemické složení A), probíhá následovně. Krystalizace začíná na příslušné větvi likvidu tvorbou primárních dendritů (prostorových, rozvětvených krystalů) austenitu přímo z taveniny. Dendrity rostou během krystalizace na úkor taveniny, která se současně obohacuje uhlíkem. Jakmile uhlík v ní dosáhne eutektické koncentrace, začne tavenina tuhnout jako grafitické eutektikum. Při eutektické krystalizaci je vedoucí fází grafit. Jeho zárodky se mohou tvořit přímo z taveniny nebo na povrchu již přítomných krystalů austenitu. Grafit roste z jednotlivých zárodků, ochuzuje okolní taveninu o uhlík a vytváří tak podmínky pro další krystalizaci austenitu. Vzniklý grafit spolu s austenitem tvoří eutektické buňky.

Časový průběh krystalizace a tuhnutí litiny je mimo jiné ovlivňován i jejím chemickým složením. Při tuhnutí je přeměna tekutého skupenství na tuhé doprovázena uvolňováním skupenského tepla tuhnutí. Při určité teplotě taveniny (teplotě likvidu) tak dochází ke změně rychlosti chladnutí (způsobeno průběhem primární krystalizace), neboť dochází k vývinu tepla při tvorbě prvních krystalů tuhé fáze (touto fází je u litin podeut. austenit, u litin nadeut. grafit). Tato rychlost chladnutí se nemění až do okamžiku, kdy litina dosáhne eutektické teploty (vlivem Si je to interval teplot), při které probíhá eutektická přeměna. Výsledkem tohoto průběhu krystalizace je grafit rozložený v austenitu.

Poklesne-li teplota cca na 950 °C a pokud litina obsahuje příznivé množství fosforu, dochází k vylučování fosfidického eutektika. Při dosažení teploty 738 °C začíná probíhat eutektoidní přeměna, během které dochází k transformaci austenitu pouze na perlit, ferit a perlit a při vhodných podmínkách, především při velmi malé rychlosti ochlazování na ferit. Při speciálních podmínkách ochlazování může být matrice litiny tvořena např. i martenzitem, nebo bainitem.

Grafitové útvary, které vznikají při krystalizaci GJL, závisí také na přehřátí taveniny a jejím ochlazování. Malým přehřátím taveniny a pomalým ochlazováním vzniká hrubý a málo rozvětvený grafit. Přidáním malého množství očkovačů do dostatečně přehřáté taveniny litiny se zvyšuje počet eutektických buněk a tím i jemnějších, pravidelně vyloučených lupínek grafitu. [1, 3]

### 2.7.3 Překrystalizace litiny s lupínkovým grafitem

Při ochlazování litiny z teploty eutektické je přeměna austenitu při eutektoidní teplotě závislá na rychlosti ochlazování, neboli podmínkách rovnováhy. Přeměnu austenitu lze dobře pozorovat na tzv. kinetickém diagramu (závislost teploty na log času). Při vyšších rychlostech ochlazování se austenit, vzniklý při primární krystalizaci, přemění na metastabilní eutektoid – perlit. Výsledkem je pak GJL s čistě perlitickou matricí, v které je rozptýlen lupínkový grafit, vzniklý též při primární krystalizaci litiny. Při velmi nízkých rychlostech ochlazování se austenit přemění pouze na stabilní eutektoid – ferit, struktura litiny má čistě feritickou matrici a grafit. Při středních rychlostech ochlazování austenitu dochází k transformaci na stabilní eutektoid – ferit, při poklesu teploty pokračuje transformace austenitu na perlit a přeměna končí eutektoidní transformací – ferit a perlit. Tato litina má základní kovovou hmotu feriticko - perlitickou.

Chceme-li získat při odlévání perlitickou matrici je třeba taveninu litiny nalegovat Cr a Ni, tj. prvky které stabilizují cementit. [1, 2, 3]



## 2.8 Vliv očkovaní na krystalizaci litin, druhy očkovadel

V metalografické praxi se provádí očkovaní především podeutektických GJL (obsah C 2,3 – 4,3 %) přidáním malého množství grafitotvorných prvků (Si, C, Cu). Očkovadlo se může přidávat na žlábků kuplovný, do pánve, do vtokové soustavy nebo do speciální komůrky ve formě (metoda in mould) nebo jiným způsobem. Přitom je důležitá velikost částic očkovadla, doba a teplota, při nichž probíhá očkovací účinek. Cílem je, aby se očkovadlo dostávalo co nejbližší k dutině formy. Očkovadlo se přidává do taveniny při teplotě 1360 – 1380 °C v množství cca 0,1; 0,2 – 0,6 % hmot. taveniny.

Pokud provádíme očkovaní v pánvi, musí být naplněna z  $\frac{1}{4}$  taveninou. Očkovaní do proudu kovu se používá zejména při odlévání pomocí automatických licích zařízení. Očkovadlo s malou zrnitostí kolem 1 mm je kontinuálně dávkováno přímo do proudu kovu nebo do mezipánve po celou dobu lití do formy. Ovládání dávkovače bývá automaticky spojeno s odlévacím zařízením. Dávkování pro GJL je 0,1 – 0,2 % hmot. taveniny.

Očkovaní působí na rozložení a změnu vzdálenosti eutektických buněk a jejich krystalizačních center, které ovlivňují krystalizaci grafitu. Současně dochází k uvolňování tepla, vznikajícího během tuhnutí jednotlivých center. Tím je tavenina mezi buňkami opětovně zahřívána a to tím více, čím je více krystalizačních center. Zahřátím mezikrystalické taveniny dochází i ke snížení rychlosti tuhnutí v očkované litině a odpadá nutnost přechlazení taveniny pro vznik krystalizačních zárodků.

Očkováním dochází ke zvýšení počtu krystalizačních center eutektických buněk, na nichž závisí zvýšení počtu jemných zárodků grafitu a snížení počtu hrubých grafitických lupínků. Výsledkem očkovaní je jemné a pravidelné vylučování grafitu, dosažení homogenity struktury a vlastností litiny, současně je potlačován vznik zákalky (vylučování bílé litiny v tenkých stěnách odlitku). Očkovadlo se do taveniny přidává těsně před odléváním (jeho účinek je časově omezený), musí být snadno rozpustné v roztavené litině, snadno se v ní rozpýtá a zvyšovat aktivitu uhlíku v litině.

V praxi jsou používány různé druhy očkovadel na bázi Si, C, SiC a Cu.

K očkovadlům na bázi křemíku patří FeSi, FeSiCa, SiAl. Nejpoužívanějším očkovadlem na bázi křemíku je ferosilicium (FeSi – 65 – 75 % Si, 1 – 2 % Al, 0,2 – 1,0 Ca). Malá přítomnost Al a Ca podporuje očkovací účinek (příliš vysoký obsah Al podporuje vznik bodlin, vysoký obsah Ca způsobuje v odlitku struskovité vměstky). Komplexní očkovadlo na bázi ferosilicia obsahuje ještě další prvky jako je Sr, Ba, Zr, Mn, Ce, výhodné pro očkovaní (0,5 – 1,0 % Sr, 1 – 6 % Ba, 1 – 6 % Zr, 10 % Mn, 0,5 – 1,0 % Ce).

Očkovadla na bázi uhlíku obsahují cca 30 % krystalického uhlíku a asi 40 – 50 % Si. Toto očkovadlo se nehodí pro výrobu GJS, tj. u litiny s nízkým obsahem S. Uhlíkatá očkovadla se dobře rozpouští při vyšší teplotě, proto se očkují při 1400 °C (do pánve se přidává množství očkovadla 0,3 – 0,6 % hmot. taveniny).

Očkovadlo na bázi karbidu křemíku (SiC) se používá v poslední době. Vzhledem k vysoké teplotě tavení (1700 °C) se v roztavené tavenině netaví, ale postupně rozpouští. Vykazuje dlouhodobý očkovací účinek, dávkování je 0,5 % hmot. taveniny.

Jako očkovadlo se používá i práškový grafit (Gramod). Mimořádným prvkem očkovadel je Cu. Při vysokých teplotách podporuje grafitizaci litiny (při tuhnutí se chová grafitotvorně) a při nižších přispívá ke vzniku perlitické matrice při překrystalizaci austenitu (chová se jako prvek karbidotvorný).

Očkovací látky však nejčastěji obsahují Si. V těsné blízkosti zrn očkovadla dochází k velké koncentraci Si a v mikroobjemech se tak i podeutektická litina stává eutektickou. Za daných podmínek se z naočkované taveniny vylučuje primární grafit. K takto vyloučenému grafitu i

k jeho zárodkům pronikají další atomy uhlíku z nejbližšího okolí taveniny a opět vzniká poměrně jemně vyloučený grafit.

Očkováná litina je málo citlivá ke změnám rychlosti ochlazování, tuhne rovnoměrněji v celém průřezu, vykazuje lepší mechanické vlastnosti. [1, 3, 4]

## 2.9 Použití GJL na brzdové bubny

Brzdy tvoří důležitou součást vozidla. Slouží k omezení a brzdění jeho pohybu. V průběhu historie se neustále vyvíjejí a jejich vznik je úzce spjat s vynálezem kola. U dřevěných kol s ocelovými obručkami se osvědčily špalíkové brzdy ze dřeva, které byly přitlačovány k obvodu kola. Když se u motorových vozidel začala používat kola s plnými pryžovými obručkami, později s pneumatikami, plněnými vzduchem, byly špalíkové brzdy nahrazeny brzdami s vnějším opásáním. Pásové brzdy působily na bubny, které byly upevněny k hnací nápravě. Po pásových brzdách následovaly brzdy bubnové s vnitřními čelistmi, které si nechal v roce 1902 patentovat Louis Renault. O téměř 50 let později, v roce 1955, byl první sériově vyráběný vůz, legendární Citroen DS – 19 vybaven kotoučovými brzdami.

Automobily mají třecí brzdy (bubnové a kotoučové), v nichž vzniká brzdný moment třením mezi otáčejícím a pevnou částí a tím se pohybová energie mění na teplo. Vlastní brzda je z pravidla umístěna přímo v kole automobilu a otáčející část je spojena s nábojem kola. U brzd bubnové je brzděný prvek součástí tvaru bubnu a třením působí na vnitřní povrch jeho obvodové stěny. Při brzdění se na vnitřní plochu bubnu přitlačují brzdové čelisti, umístěné ve vnitřním prostoru bubnu. Brzdový buben má na vnější obvodové straně radiální nebo šikmá žebra, nebo je vnější stěna bubnu stupňovitá. To zvyšuje jeho pevnost a zlepšuje odvod tepla. Materiál bubnu musí mít dobré třecí vlastnosti, dostatečnou odolnost proti opotřebení a pevnost.

Proto se na tyto komponenty automobilů používá ve firmě ŠKODA AUTO a.s. litina s lupínkovým grafitem – EN-GJL-250 (požadavky na tento materiál jsou uvedeny v kapitole 3.2). Jako brzdy předních kol se u vozidel Škoda používají výhradně kotoučové brzdy, na zadní nápravě u vozidel Škoda malé a nižší střední třídy, vybavené motorem do výkonu 77 kW, jsou brzdy bubnové (cenově výhodné). V současné době, vzhledem k přibývajícím hmotnostem a stále vyšším rychlostem automobilů, je tendence používání kotoučových brzd také u zadní nápravy. Kotoučové brzdy mají ve srovnání s bubnovými větší výkon ačkoli se ohřívají více, nenastává u nich při běžném provozu slábnutí brzdícího účinku přehřátím (fading) a výměna brzdového obložení je rychlá.

Přestože jsou bubny vyráběny z kvalitního materiálu a jsou méně náchylné k opotřebení než brzdové obložení, musí se třecí plochy kontrolovat z hlediska opotřebení, rýh, trhlin a koroze. Uvedené jevy lze odhalit i vizuální kontrolou. Brzdové bubny mohou být také oválné a mohou vykazovat vlasové trhliny. Ovalita je způsobena přehřátím bubnu a pozná se podle „pumpování“ brzdového pedálu nebo na zkušebně brzd. Podle velikosti opotřebení nebo poškození je možno upravit brzdové bubny soustružením, je třeba dodržet přípustný finální rozměr a soustružení nebo výměnu bubnu provést na obou stranách nápravy, aby bylo zaručeno rovnoměrné působení brzd. [10, 11]

### 3 Praktická část

Příprava praktické části byla prováděna na pracovišti Slévárna litin firmy ŠKODA AUTO a.s., při níž došlo k seznámení s výrobou litiny, určené k výrobě brzdových bubnů a sériovou výrobou odlitků. Příprava zkušebních odlitků (vliv druhu a množství očkovačla) a následné zjišťování jejich tvrdosti a struktury bylo prováděno na pracovišti TU v Liberci.



Obr. 3.1 Odlitek brzdového bubnu [9]

<b>Surová hmotnost [kg]</b>	9
<b>Hrubá hmotnost [kg]</b>	6
<b>Materiál</b>	EN-GJL- 250

Tab. 3.1 Parametry odlitku [9]

#### 3.1 Metalurgické postupy ve firmě ŠKODA AUTO a.s.

Tavenina je připravována v středofrekvenční indukční kelímkové peci Junker o hmot. vsázky 4000 kg. Vsázkování se provádí v následujícím pořadí: nauhličovalo na dno pece, 1/3 množství ocelových paket, zbytek nauhličovala, SiC, zbytek ocelových paket, legury (feroslitiny – slitiny Fe s P, Mn, Ti, Cr, Cu), surové železo, vratný materiál (pochází z vlastní produkce slévárny – vtoky, nálitky, zmetky) a pyrit (FeS).

Po natavení je provedeno odstranění strusky a je odebrán vzorek pro chemický rozbor. Pokud chemické složení neodpovídá požadavkům, je přidána surovina, případně se tavenina naředí v jiné tavící peci.

Očkování taveniny je prováděno ve dvou stupních. Poprvé se očkuje při přelévání taveniny z transportního bubnu do licího zařízení, kdy je odměřené množství očkovačla jednoduchým mechanismem s násypkou vypuštěno do proudu kovu. Vzhledem k množství taveniny se používá očkovačlo s větší zrnitostí. Podruhé se očkuje při lití do forem, kdy množství očkovačla dávkuje automatické zařízení MSI firmy Foseco do proudu kovu. Používá se očkovačlo s jemnější zrnitostí.

Tavenina je vlévána licím zařízením do bezrámových forem, vyplněných formovací směsí. V každé formě jsou současně vyrobeny 3 odlitky.

### 3.1.1 Používaná očkovaďla a formovací směs

Při prvním očkování se používá očkovaďlo **SUPERSEED 75** (produkt fa Elkem AS, Norsko). Jedná se o očkovaďlo na bázi ferosilicia, kde je hlavním očkovacím prvkem stroncium. Nízký obsah hliníku a vápníku zajišťuje minimální sklon k tvorbě strusky po přidání do kovu.

Superseed snižuje náchylnost k zákalce bez rozsáhlého snížení počtu zárodečných buněk. Použitím očkovaďla Superseed je získáno úzké pásmo zákalky. Tato příměs se používá pro očkování GJL. Může být nasypán na dno pánve a zalit tekutým kovem a nebo přímo přidáván do proudu taveniny. Je nutné upozornit, že očkovaďla ztrácejí svoji schopnost snižovat zákalku, je-li kov před litím dlouho udržován v pánvi. Proto se potom doporučuje doočkování.

Analýza:	% Si	73 - 78	Standardní zrnitosti:	0,2 - 0,7	mm
	% Sr	0,6 - 1		1 - 3	mm
	% Ca	max. 0,1		2 - 6	mm
	% Al	max. 0,5			
	% Fe	zbytek			

Pro druhé očkování se používá očkovaďlo **CSF 10 GSK** (dodavatel fa ASHLAND – CZ). Je to očkovací látka pro litinu GJL, GJS. Při očkování GJL dochází i k účinnému očkování vlivem tvorby sulfidů a oxidů smíšených kovů. Při očkování GJL činní množství přídavku 0,05 – 0,2 % hmotnosti taveniny, při očkování GJS je přídavek očkovací látky 0,1 – 0,25 % hmotnosti taveniny.

Analýza:	% Si	36 - 45	Zrnitost:	0,6 - 2	mm
	% Se	9 - 15			
	% Al	cca 0,8			
	% Ca	0,4 - 1,0			
	% Fe	zbytek			

Poznámka: Při výrobě GJL, určené pro vložky válců motorů, které se ve firmě ŠKODA AUTO a.s. rovněž vyrábějí, se jako první očkovaďlo používá SUPERSEED 75, jako druhé očkovaďlo SB 5.

**SB 5 GSK** (dodavatel fa ASHLAND – CZ) je vysoce účinná očkovací slitina na bázi ferosilicia pro GJL a GJS. Vlastnosti baria, hliníku a vápníku propůjčují očkovací slitině vysokou účinnost při širokém rozsahu použití. Množství přídavku se řídí podle daných podmínek (0,05-0,5 % hmotnosti taveniny).

Analýza:	% Si	65 - 70	Zrnitost:	0,6 - 3	mm
	% Ba	2 - 2,5		2 - 6	mm
	% Al	1 - 1,5			
	% Ca	1 - 1,5			
	% Fe	zbytek			

**Formovací směs** tvoří následující složky: ostrohranný slévárenský písek ze Střelče (Český Ráj) - zrnitost 0,27 a 0,22 mm, bentonit (jemnozrnňý jíl) a H<sub>2</sub>O.

### 3.2 Hodnocení kvality odlitků ve ŠKODA AUTO a.s.

Kvalita odlitků (brzdové bubny) je ve firmě ŠKODA AUTO a.s. prováděna dle zpracovaného harmonogramu kontrolní činnosti. Pravidelně se po natavení surovin v EIP při každé tavbě provádí chemický rozbor taveniny. Odlitky z formy podléhají na přepravním pásu vizuální kontrole.

Během každé tavby se provádí RTG kontrola vybraného jednoho odlitku ke zjištění vnitřních závad na zařízení Andrex DC 225 HF. Ve slévárně litin se provádí kontrola jednoho odlitku na tvrdost podle Brinella.

Během jedné směny se ve slévárně litin provádí rozměrová kontrola jednoho odlitku digitálním měřidlem. V metalografické laboratoři se provádí kontrola jednoho odlitku na pevnost mezi klíny a tvrdost podle Brinella. Kontroly se provádí na zařízení KDG a Wolpert.

Jedenkrát týdně se provádí ve slévárně litin rozměrová kontrola jedné sady odlitků (3 kusy) měřidlem 3D. V metalografické laboratoři se provádí kompletní rozbor jednoho odlitku (chemické složení, tvrdost, mech. vlastnosti, metalografie).

Výsledky uvedeného kompletního rozboru musí odpovídat stanoveným parametrům:

- a) chemické složení odlitku - C (2,8 – 3,4 %), Mn (0,3 – 1,0), Si (1,8 – 2,8), P (max. 0,25), S ( max. 0,1), Cr (max. 0,3), Cu (max. 0,8), Ti (max. 0,1)
- b) tvrdost odlitku - 195 - 245 HBW 5/750
- c) mechanické vlastnosti - pevnost mezi klíny min. 175 MPa
- d) metalografie - tvar grafitu I
  - rozložení grafitu A (ojediněle D)
  - velikost grafitu A 4 – 7, ojediněle A 3, D 7 – 8 přípustné
  - struktura lamelární perlit, ferit v jádře max. 10 %, v povrchové vrstvě do 0,5 mm max. 30 %

### 3.3 Příprava zkušebních odlitků

K přípravě odlitků byl použit vratný materiál z brzdových bubnů, které se vyrábí ve firmě ŠKODA AUTO a.s. Mladá Boleslav. V oddělení Slévárna litiny s lupínkovým grafitem uvedené firmy bylo převzato celkem 100 kg tohoto materiálu, 100 kg formovací směsi (formovací písek a bentonit), 0,05 kg očkovací slitiny SB 5 GSK, 0,05 kg očkovací látky CSF 10 GSK a dřevěný model zkušebního odlitku. Uvedené suroviny byly převezeny do areálu Technické univerzity v Liberci. V dílnách Katedry strojírenské technologie bylo k přípravě odlitků použito 45 kg vratného materiálu (obr. 3.2).



Obr. 3.2 Vratný materiál

Předem bylo připraveno 5 formovacích rámců o rozměrech 400 x 250 x 80 mm, vyplněných formovací směsí z firmy ŠKODA AUTO a.s. (obr. 3.3).



Obr. 3.3 Formovací rámy

Roztavení vratného materiálu z brzdových bubnů probíhalo v elektrické kelímkové indukční peci typu IO 40, vyrobené firmou Indukce s.r.o. (obr. 3.4).



Obr. 3.4 Indukční kelímková pec

Když tavenina v peci dosáhla teploty 1400 °C (měřeno přístrojem jasový pyrometr METRA – rozsah 1200 – 2300 °C), byla odstraněna struska a tavenina se odlila do kelímku, který byl předeřhát v odporové peci typu TS-E-PEK-1 na teplotu 750 °C.

Při odlévání materiálu bylo provedeno pět pokusů. Při prvním odlévání do kelímku nebylo do proudu taveniny nasypáno očkovadlo. Při druhém pokusu bylo použito očkovadlo typu SB 5 GSK v menším množství než při pokusu třetím. Ve čtvrtém pokusu bylo do proudu taveniny nasypáno očkovadlo typu CSF 10 GSK v menším množství než při pokusu pátém (tab. 3.2).

Tab. 3.2 Použité suroviny

<b>Na 45 kg taveniny</b>	<b>1. odlitek</b>	<b>2. odlitek</b>	<b>3. odlitek</b>	<b>4. odlitek</b>	<b>5. odlitek</b>
Vratný materiál	5 kg	10 kg	10 kg	10 kg	10 kg
Očkovadlo SB 5 GSK	-	0,005 kg	0,025 kg	-	-
Očkovadlo CSF 10 GSK	-	-	-	0,005 kg	0,025 kg

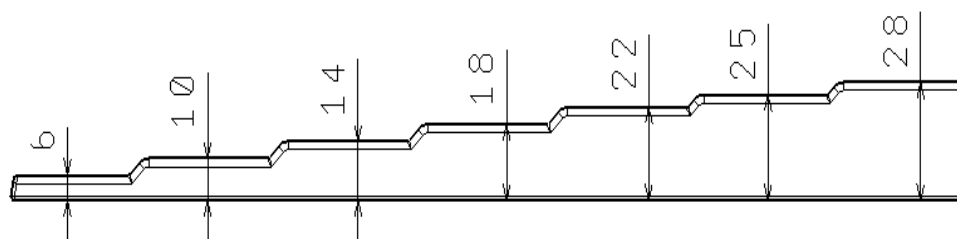
Množství použitých očkovadel bylo odměřeno na digitální laboratorní váze a zvolené hodnoty (0,05 a 0,25 % hmotnosti taveniny) obsahu očkovadel, odpovídají rozpětí hodnot, doporučených firmou ASHLAND.

Výše uvedená tavenina se z kelímku odlila do připravených formovacích rámců. Celkem bylo odlito pět tvarově stejných zkušebních odlitků (obr. 3.5). Každý odlitek měl 7 stupňů, lišících se tloušťkou (obr. 3.6).



Obr. 3.5 Zkušební odlitky





Obr. 3.6 Tloušťka odlitku [mm]

### 3.4 Měření tvrdosti metodou podle Brinella

Pro měření byla zvolena metoda tvrdosti podle Brinella ČSN EN ISO 6506 – 1, která je normována pro kovové materiály. K měření byl použit tvrdoměr WPM Vickers / Brinell 15-250 (obr. 3.7). Zkouška byla prováděna na předem upraveném povrchu materiálu (hladký, rovný, bez okujené vrstvy, bez mazadel) tak, že do povrchu materiálu byla vtlačena kulička předepsanou silou po normovanou dobu zatížení (HBW 2,5/187,5). Po odlehčení byl měřen průměr vtisku na stínítku pomocí pevného a posuvného měřítka. Měření bylo prováděno 3krát v každé tloušťce materiálu.



Obr. 3.7 Tvrdoměr WPM Vickers / Brinell 15 – 250

### 3.5 Metalografická analýza vzorků

Metalografie byla prováděna v laboratořích Katedry materiálu TU v Liberci.



### 3.5.1 Příprava vzorků

Z odlitků č. 1-5 byly vybrány vzorky s nejmenší a největší tloušťkou. Oddělení vzorků bylo provedeno rozbrušovací pilou Delta Abrasimet Cutter firmy Buehler, kde je vzorek a řezný kotouč dostatečně chlazen emulzí, aby se zabránilo tepelnému ovlivnění struktury vzorku (obr. 3.7).



Obr. 3.8 Rozbrušovací pila Delta Abrasimet Cutter

Takto vzniklé vzorky byly opláchnuty vodou, lihem a následně vysušeny. Vzorek byl vložen zkoumanou plochou na dno tubusu přístroje Simplimet 1000 k zalisování do dentakrylu (obr. 3.9).



Obr. 3.9 Poloautomatický elektro-hydraulický lis Simplimet 1000

Potom byl vzorek zasypán práškovým dentakrylem a na jeho povrch bylo umístěno číselné označení vzorku z tvrdého papíru, aby nedošlo k jejich záměně. Jednotlivé vzorky byly označeny tak, že první číslo na vzorku odpovídá odlitku, z kterého byl vzorek odebrán a druhé číslo za pomlčkou odpovídá tloušťce nejnižšího a nejvyššího stupně odlitku (např. 3-7 – 3. odlitek, nejvyšší stupeň). Po zvolení doby ohřevu, chlazení, lisovacího tlaku a lisovací teploty došlo k zalisování vzorku do pryskyřice a následnému vytvrzení (obr. 3.10).



Obr. 3.10 Zalisované vzorky v dentakrylu

Zalisované a označené vzorky byly broušeny na sadě metalografických brusek Buehler Alpha s rotujícími kotouči (obr. 3.11), opatřenými brusnými papíry s hodnotami 240, 400, 800, 1200, 2000 a následně opláchnuty vodou a lihem. Tímto byla získána rovnoměrně drsná plocha s minimální nerovností.



Obr. 3.11 Sada metalografických brusek Buehler Alpha

V poslední fázi byly všechny vzorky vyleštěny na leštícím kotouči diamantovou pastou D 3, D 0,7 (přístroj Metaserv 3000), opláchnuty vodou, lihem a vysušeny fénem. Je třeba zdůraznit, že kvalita vyleštění vzorku je zásadně ovlivněna těmito kroky. Leštěním vzorků bylo dosaženo kvalitního, rovného a zrcadlového povrchu, který je předpokladem k mikroskopickému zkoumání grafitu, obsaženého ve vzorku.

### 3.5.2 Hodnocení grafitu

Grafit byl hodnocen pod mikroskopem na neleptaném výbrusu při stonásobném zvětšení na optickém přístroji Neophot 32 firmy Zeiss, opatřený digitálním fotoaparátem Coolpix 4500 (Nikon). Při hodnocení bylo vycházeno z normy ČSN EN ISO 945, která zahrnuje 3 etalonové řady pro tvar, rozložení a velikost grafitu.



Obr. 3.12 Optický mikroskop Neophot 32 firmy Zeiss

### 3.5.3 Zkoumání kovové matrice

Kovová matrice byla zkoumána pod mikroskopem z hlediska obsahu perlitu a feritu na výbrusu v naleptaném stavu 2 % nitalem. Pro zkoumání byl použit stejný přístroj jako v případě hodnocení grafitu, ale při dvěstěnásobném zvětšení.

## 4 Naměřené hodnoty

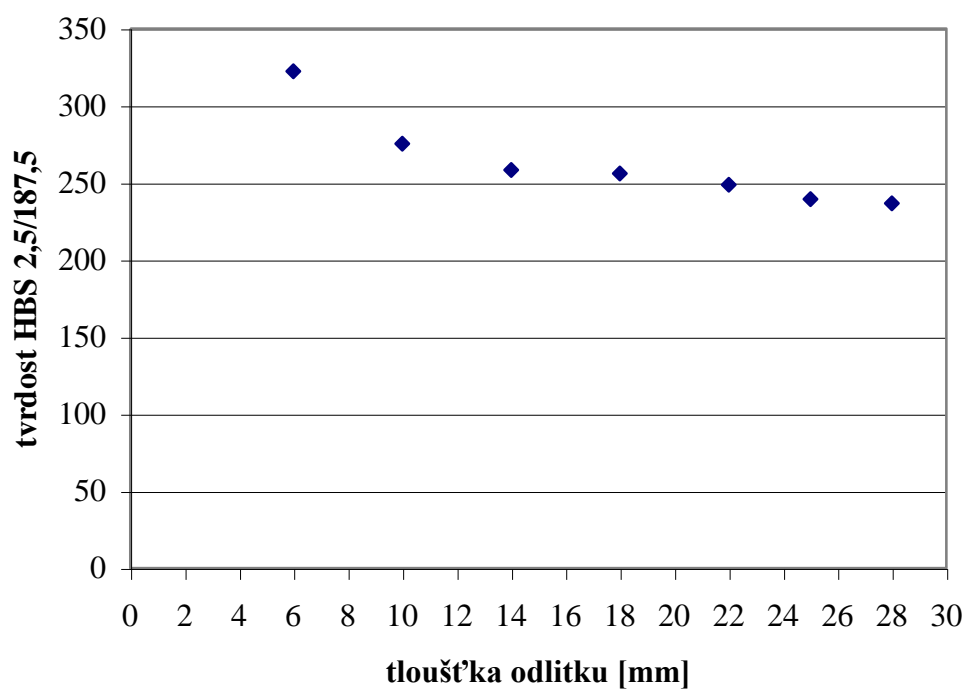
### 4.1 Tvrdost odlitků podle Brinella

Měření bylo provedeno v každé tloušťce odlitků.

#### 4.1.1 Měření na 1. odlitku (bez očkovadla)

Tab. 4.1 Naměřené hodnoty tvrdosti

Tloušťka odlitku [mm]	Tvrdost HBW 2,5/187,5				
	1. Měření	2. Měření	3. Měření	Průměr	Směr. odchylka
6	313	329	325	322,3	8,3
10	272	276	278	275,3	3,1
14	260	258	257	258,3	1,5
18	255	257	256	256,0	1,0
22	249	250	247	248,7	1,5
25	239	238	241	239,3	1,5
28	239	236	235	236,7	2,1

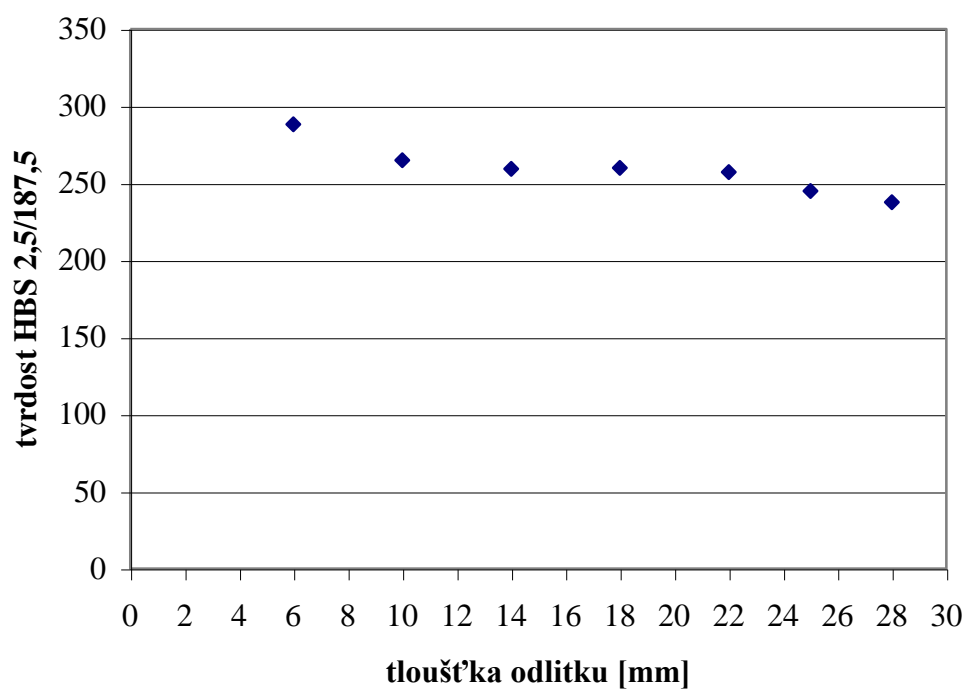


Graf 4.1 Tvrdost v závislosti na tloušťce odlitku

#### 4.1.2 Měření na 2. odlitku (očkovadlo SB 5 GSK - 0,05 % hmot. tav.)

Tab. 4.2 Naměřené hodnoty tvrdosti

Tloušťka odlitku [mm]	Tvrdost HBW 2,5/187,5				
	1. Měření	2. Měření	3. Měření	Průměr	Směr. odchylka
6	292	287	286	288,3	3,2
10	260	266	269	265,0	4,6
14	255	260	263	259,3	4,0
18	260	262	258	260,0	2,0
22	260	255	257	257,3	2,5
25	245	244	246	245,0	1,0
28	239	234	240	237,7	3,2

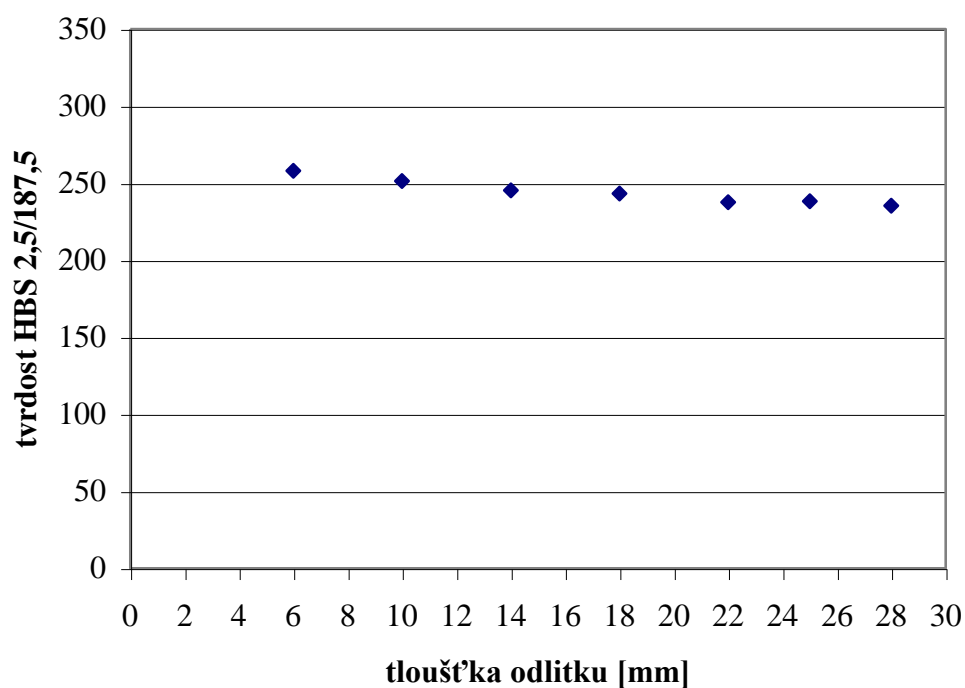


Graf 4.2 Tvrdost v závislosti na tloušťce odlitku

#### 4.1.3 Měření na 3. odlitku (očkovadlo SB 5 GSK - 0,25 % hmot. tav.)

Tab. 4.3 Naměřené hodnoty tvrdosti

Tloušťka odlitku [mm]	Tvrdost HBW 2,5/187,5				
	1. Měření	2. Měření	3. Měření	Průměr	Směr. odchylka
6	261	255	258	258,0	3,0
10	249	251	254	251,3	2,5
14	249	243	244	245,3	3,2
18	241	246	243	243,3	2,5
22	237	236	240	237,7	2,1
25	239	241	235	238,3	3,1
28	235	233	238	235,3	2,5

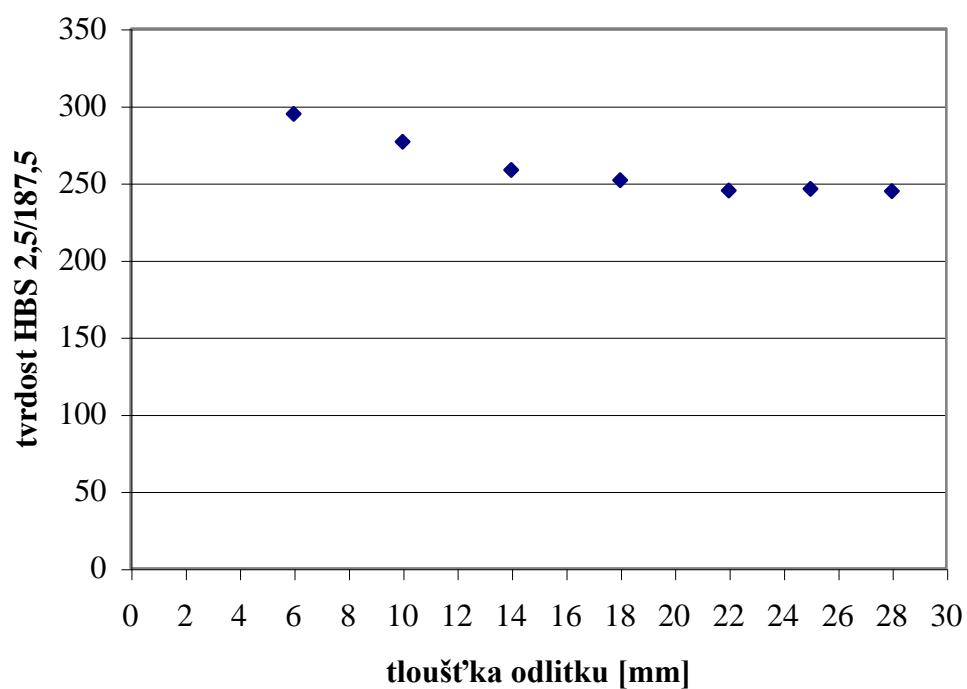


Graf 4.3 Tvrdost v závislosti na tloušťce odlitku

#### 4.1.4 Měření na 4. odlitku (očkovadlo CSF 10 GSK – 0,05 % hmot. tav.)

Tab. 4.4 Naměřené hodnoty tvrdosti

Tloušťka odlitku [mm]	Tvrdost HBW 2,5/187,5				
	1. Měření	2. Měření	3. Měření	Průměr	Směr. odchylka
6	294	292	298	294,7	3,1
10	278	272	280	276,7	4,2
14	260	258	257	258,3	1,5
18	253	247	255	251,7	4,2
22	244	242	249	245,0	3,6
25	245	249	244	246,0	2,6
28	245	243	246	244,7	1,5

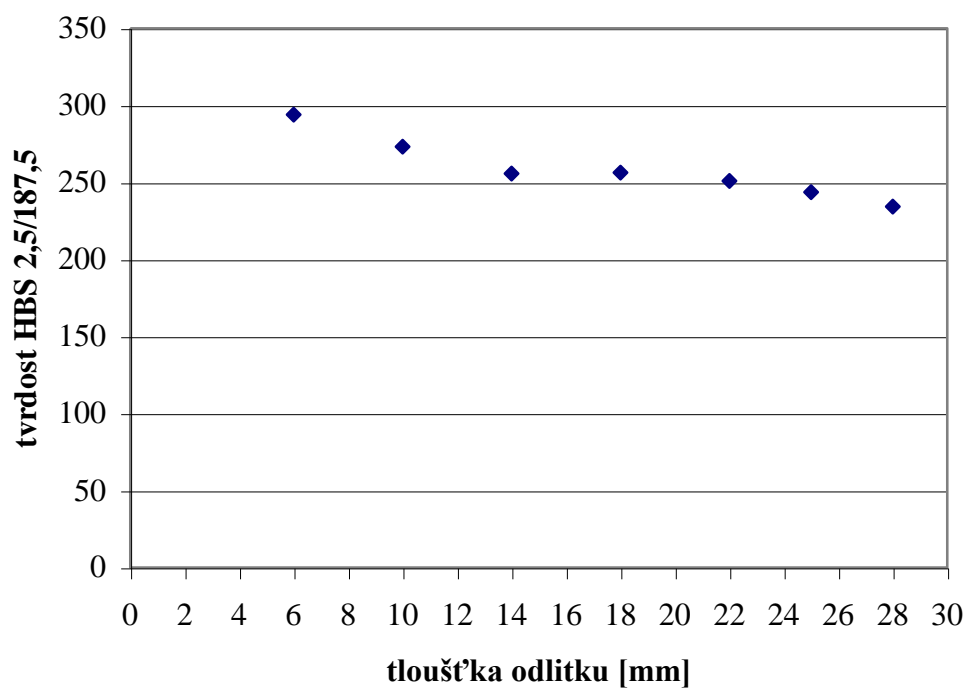


Graf 4.4 Tvrdost v závislosti na tloušťce odlitku

#### 4.1.5 Měření na 5. odlitku (očkovadlo CSF 10 GSK – 0,25 % hmot. tav.)

Tab. 4.5 Naměřené hodnoty tvrdosti

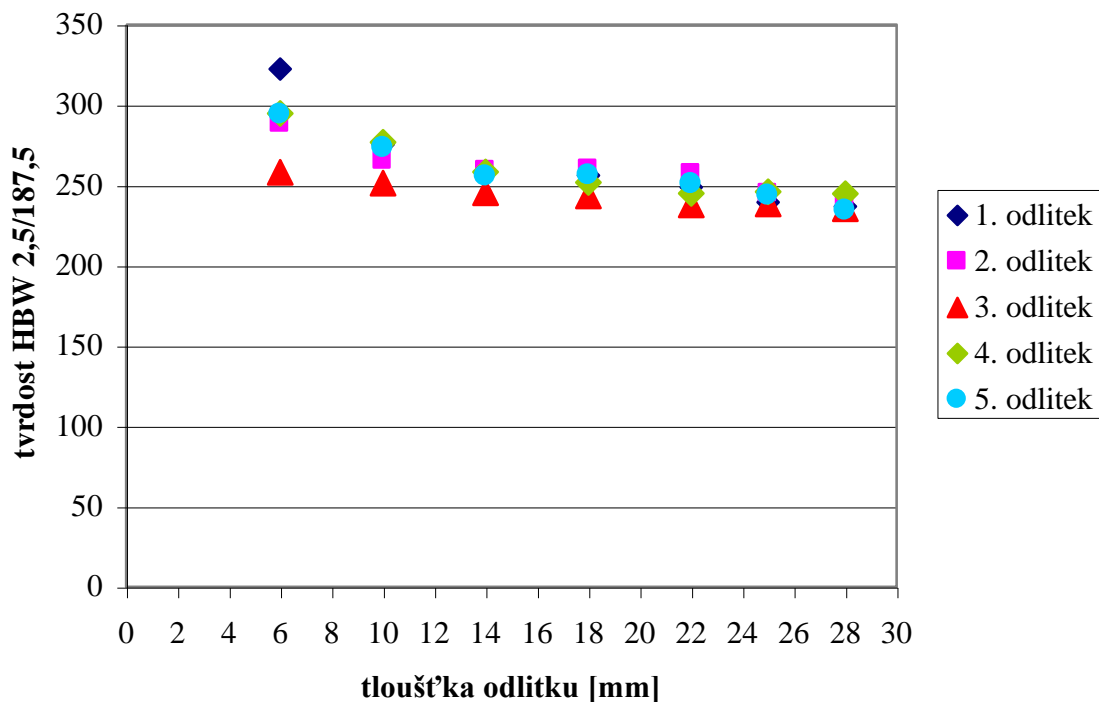
Tloušťka odlitku [mm]	Tvrdost HBW 2,5/187,5				
	1. Měření	2. Měření	3. Měření	Průměr	Směr. odchylka
6	298	292	292	294,0	3,5
10	270	272	278	273,3	4,2
14	255	257	255	255,7	1,2
18	257	254	258	256,3	2,1
22	256	249	248	251,0	4,4
25	239	244	248	243,7	4,5
28	239	234	230	234,3	4,5



Graf 4.5 Tvrdost v závislosti na tloušťce odlitku



#### 4.1.6 Porovnání tvrdosti u odlitků 1-5



Graf 4.6 Tvrdost v závislosti na tloušťce odlitků

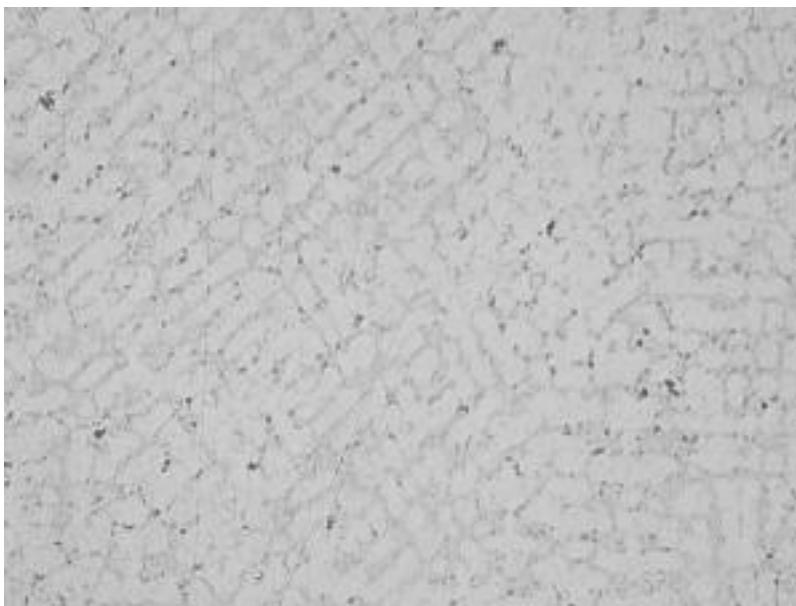
## 4.2 Tvar, rozložení a velikost grafitu

Hodnocení grafitu bylo prováděno podle normy ČSN EN ISO 945, podle etalonových řad pro tvar grafitu, pro rozložení grafitu a pro velikost grafitu. Na obrázcích č. 4.1 – 4.10 lze pozorovat strukturu grafitu v nenaleptaném stavu při stonásobném zvětšení. Obrázky pocházejí ze vzorků odebraných z odlitků 1-5. Tabulky 4.6 – 4.10 zaznamenávají strukturu grafitu dle etalonových řad.

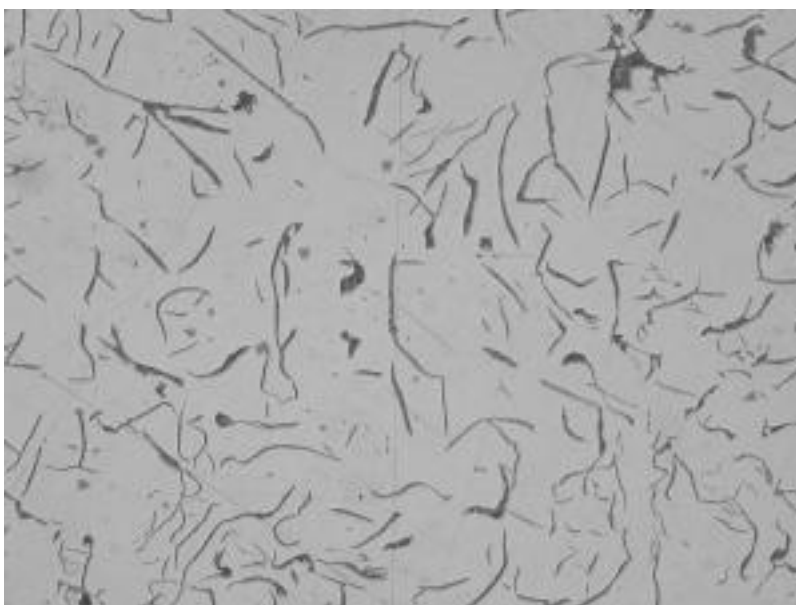
### 4.2.1 Vzorky z 1. odlitku (bez očkovadla)

Tab. 4.6 Tvar, rozložení a velikost grafitu

Vzorek č.	Tloušťka odlitku [mm]	Tvar grafitu	Rozložení grafitu	Velikost grafitu
1-1	6	I	D	8
1-7	28	I	částečně A	5



Obr. 4.1 Vzorek č. 1-1 – tl. 6 mm (neleptáno, zvětšeno 100 x)

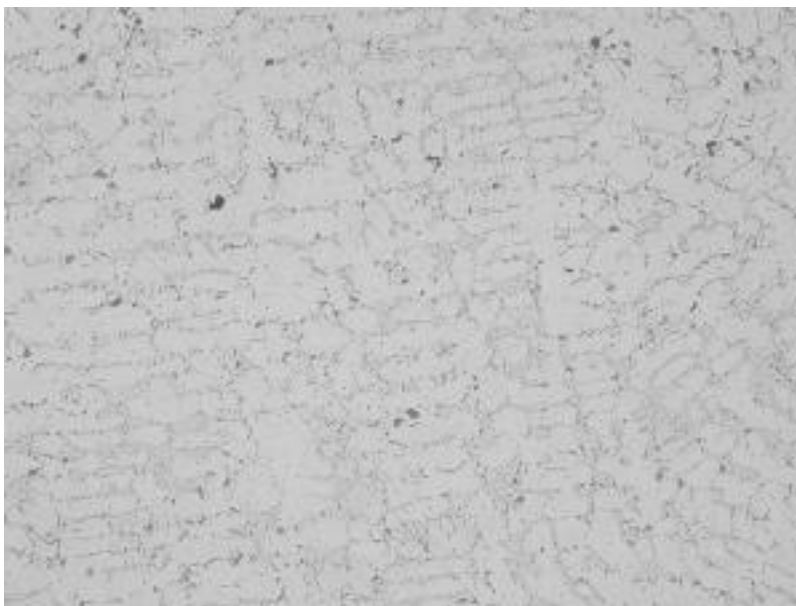


Obr. 4.2 Vzorek č. 1-7 – tl. 28 mm (neleptáno, zvětšeno 100 x)

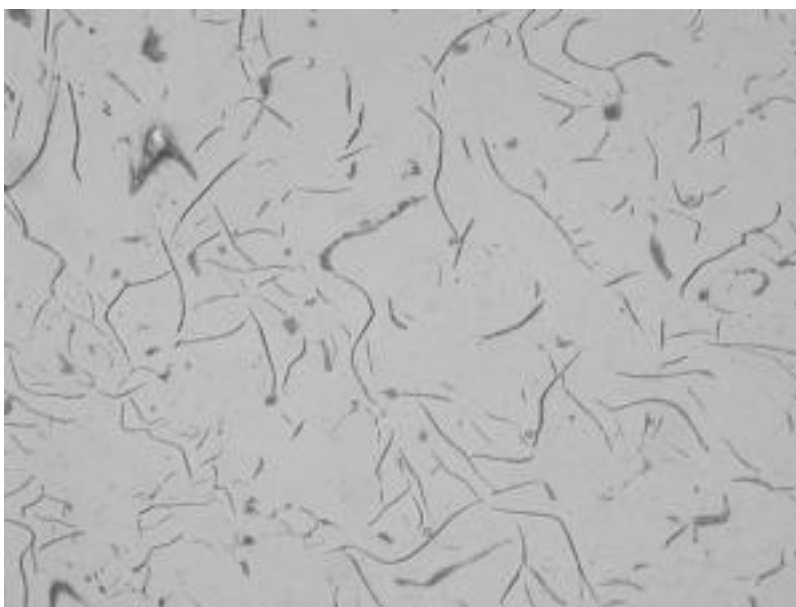
#### 4.2.2 Vzorky z 2. odlitku (očkovadlo SB 5 GSK - 0,05 % hmot. tav.)

Tab. 4.7 Tvar, rozložení a velikost grafitu

Vzorek č.	Tloušťka odlitku [mm]	Tvar grafitu	Rozložení grafitu	Velikost grafitu
2-1	6	I	D	8
2-7	28	I	částečně A	5



Obr. 4.3 Vzorek č. 2-1 – tl. 6 mm (neleptáno, zvětšeno 100 x)

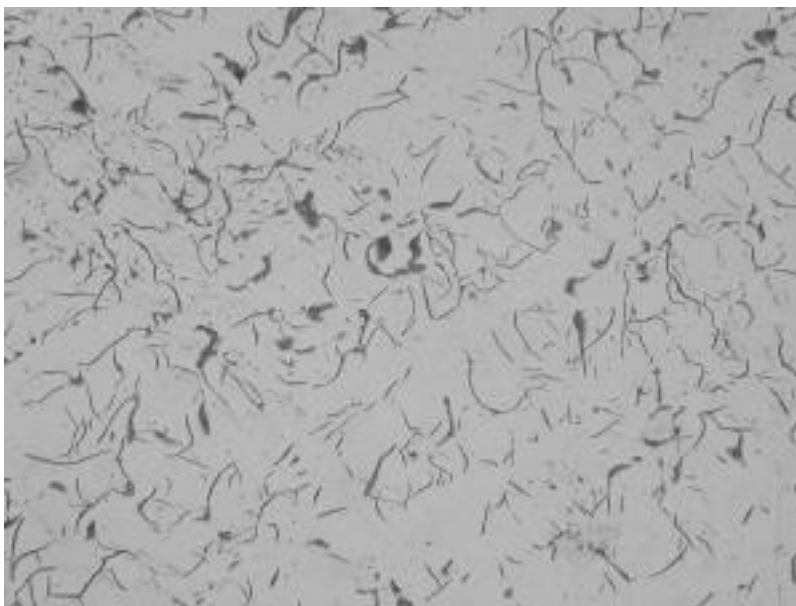


Obr. 4.4 Vzorek č. 2-7 – tl. 28 mm (neleptáno, zvětšeno 100 x)

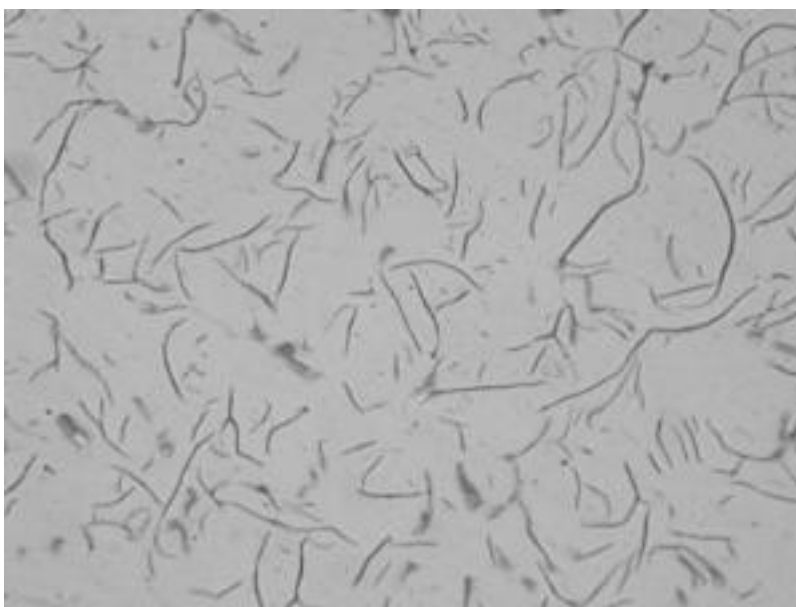
#### 4.2.3 Vzorky z 3. odlitku (očkovadlo SB 5 GSK – 0,25 % hmot. tav.)

Tab. 4.8 Tvar, rozložení a velikost grafitu

Vzorek č.	Tloušťka odlitku [mm]	Tvar grafitu	Rozložení grafitu	Velikost grafitu
3-1	6	I	částečně A	6
3-7	28	I	A	4



Obr. 4.5 Vzorek č. 3-1 – tl. 6 mm (neleptáno, zvětšeno 100 x)

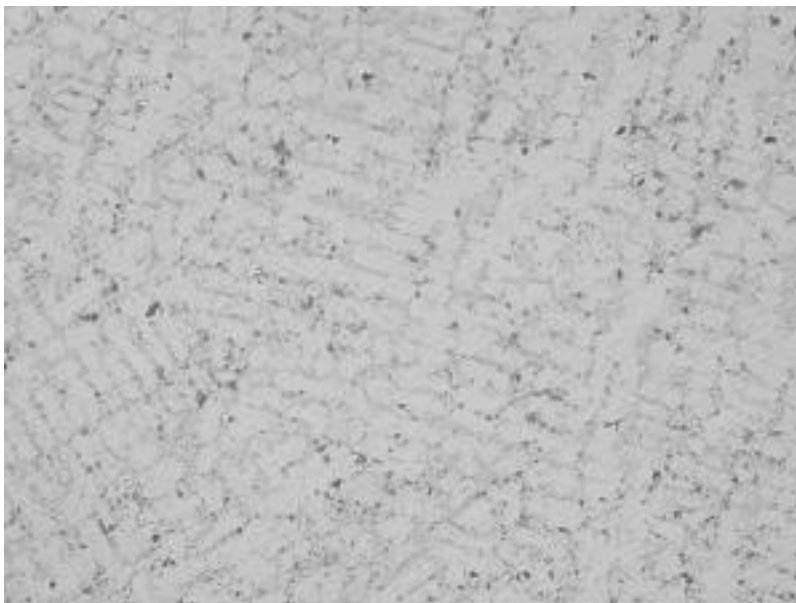


Obr. 4.6 Vzorek č. 3-7 – tl. 28 mm (neleptáno, zvětšeno 100 x)

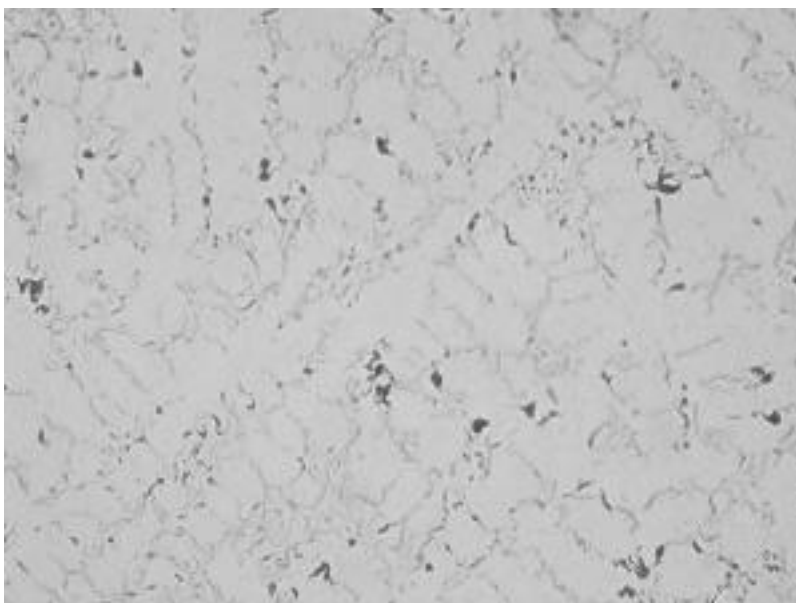
#### 4.2.4 Vzorky z 4. odlitku (očkovadlo CSF 10 GSK – 0,05 % hmot. tav.)

Tab. 4.9 Tvar, rozložení a velikost grafitu

Vzorek č.	Tloušťka odlitku [mm]	Tvar grafitu	Rozložení grafitu	Velikost grafitu
4-1	6	I	D	8
4-7	28	I	D	7



Obr. 4.7 Vzorek č. 4-1 – tl. 6 mm (neleptáno, zvětšeno 100 x)

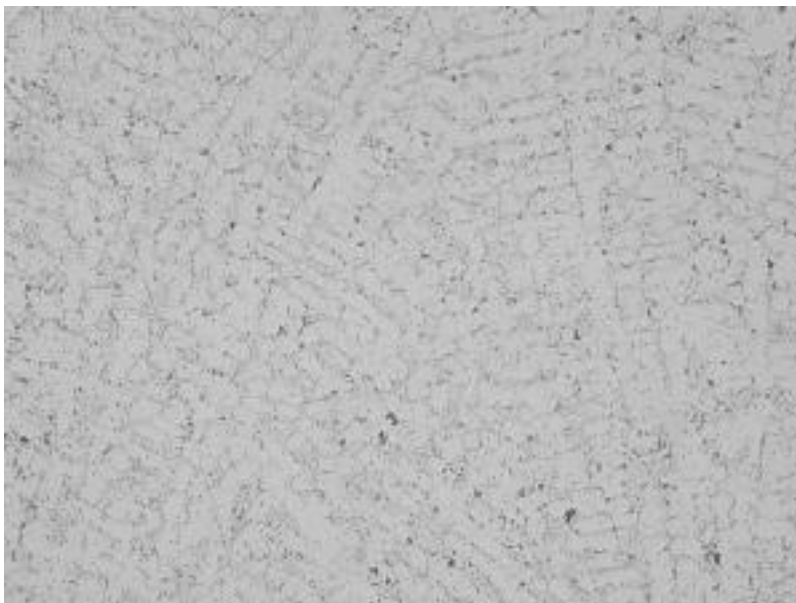


Obr. 4.8 Vzorek č. 4-7 – tl. 28 mm (neleptáno, zvětšeno 100 x)

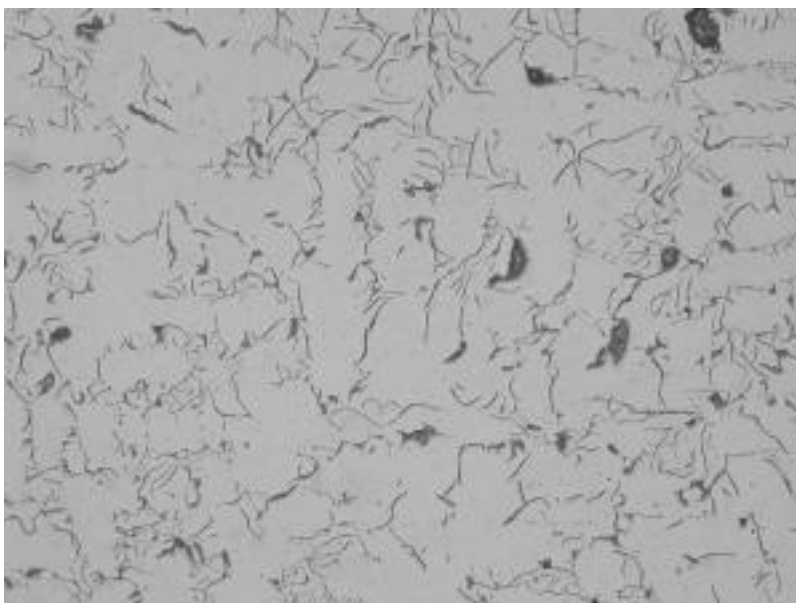
#### 4.2.5 Vzorky z 5. odlitku (očkovadlo CSF 10 GSK – 0,25 % hmot. tav.)

Tab. 4.10 Tvar, rozložení a velikost grafitu

Vzorek č.	Tloušťka odlitku [mm]	Tvar grafitu	Rozložení grafitu	Velikost grafitu
5-1	6	I	D	8
5-7	28	I	částečně A	6

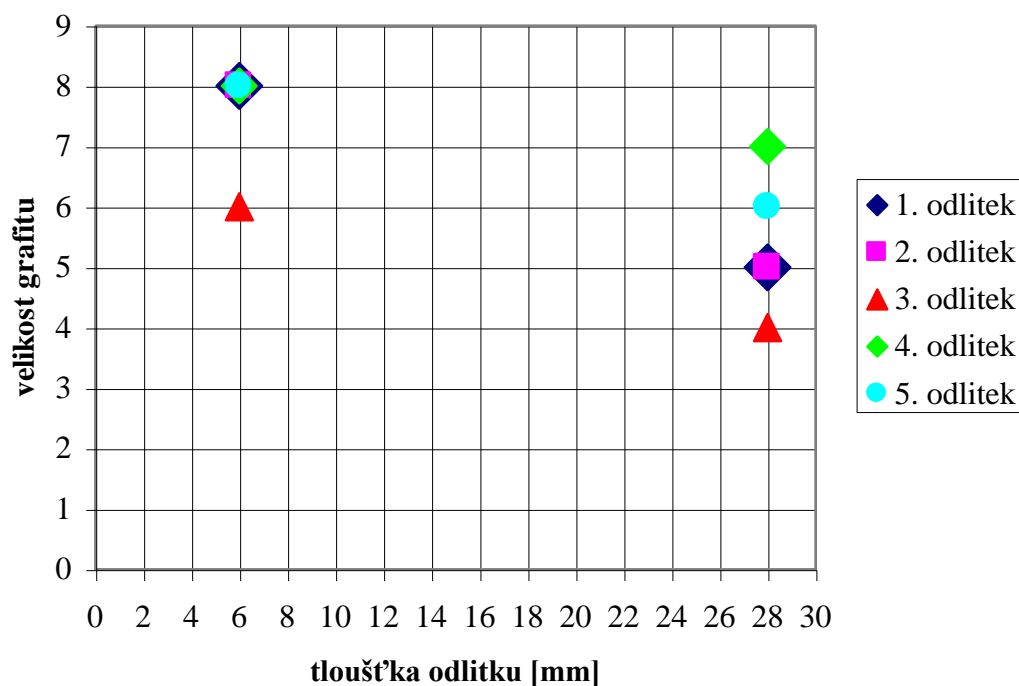


Obr. 4.9 Vzorek č. 5-1 – tl. 6 mm (neleptáno, zvětšeno 100 x)



Obr. 4.10 Vzorek č. 5-7 – tl. 28 mm (neleptáno, zvětšeno 100 x)

## 4.2.6 Porovnání velikosti grafitu u odlitků 1-5



Graf 4.7 Závislost velikosti grafitu na tloušťce odlitku

## 4.3 Kovová matrice

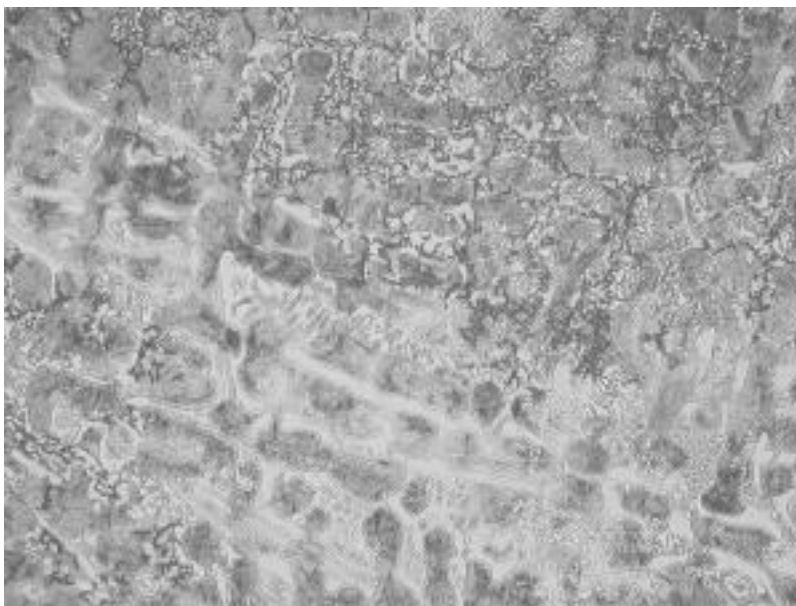
Struktura matrice byla pozorována při dvěstěnásobném zvětšení v naleptaném stavu 2 % nitalem. Tabulky 4.11 – 4.15 zaznamenávají procentuální zastoupení perlitu a feritu ve struktuře vzorků z odlitků 1-5. Na obrázcích 4.11 – 4.20 lze pozorovat perliticko-feritickou strukturu, v některých případech se vyskytuje i ledeburitická struktura.

### 4.3.1 Vzorky z 1. odlitku (bez očkovadla)

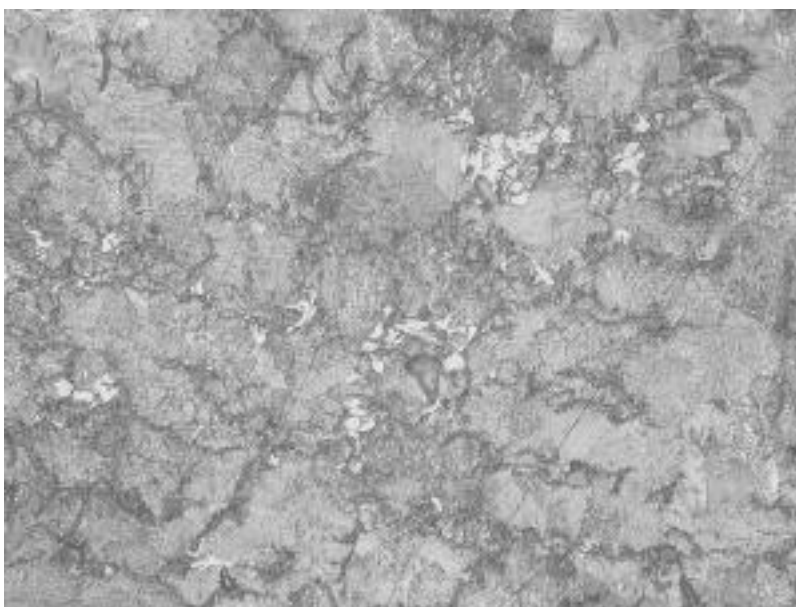
Tab. 4.11 Zastoupení perlitu a feritu

Vzorek č.	Tloušťka odlitku [mm]	Perlit [%]	Ferit [%]
1-1*	6	39	1
1-7	28	96	4

\* 60 % ledeburit



Obr. 4.11 Vzorek č. 1-1 – tl. 6 mm (leptáno 2 % nital, zvětšeno 200 x)



Obr. 4.12 Vzorek č. 1-7 – tl. 28 mm (leptáno 2 % nital, zvětšeno 200 x)

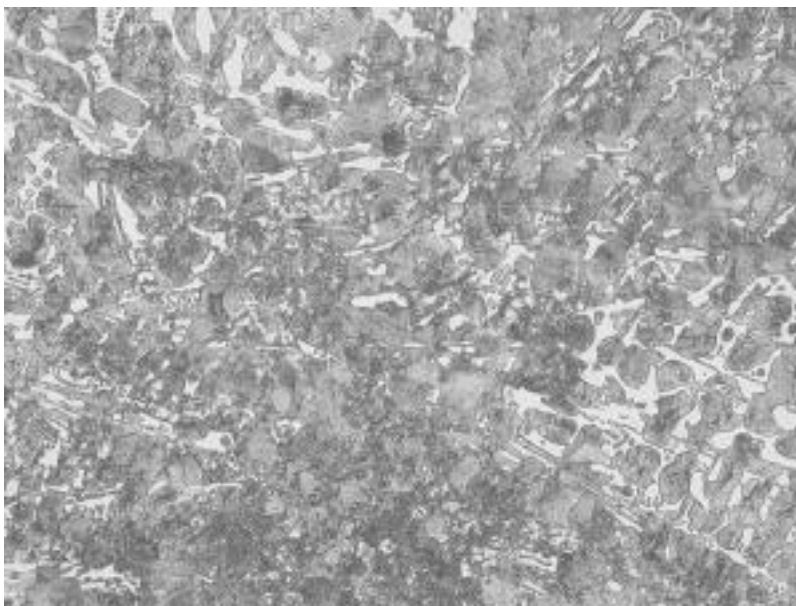
#### 4.3.2 Vzorky z 2. odlitku (očkovadlo SB 5 GSK - 0,05 % hmot. tav.)

Tab. 4.12 Zastoupení perlitu a feritu

Vzorek č.	Tloušťka odlitku [mm]	Perlit [%]	Ferit [%]
2-1*	6	48	2
2-7	28	95	5

\* 50 % ledeburit





Obr. 4.13 Vzorek č. 2-1 – tl. 6 mm (leptáno 2 % nital, zvětšeno 200 x)



Obr. 4.14 Vzorek č. 2-7 – tl. 28 mm (leptáno 2 % nital, zvětšeno 200 x)

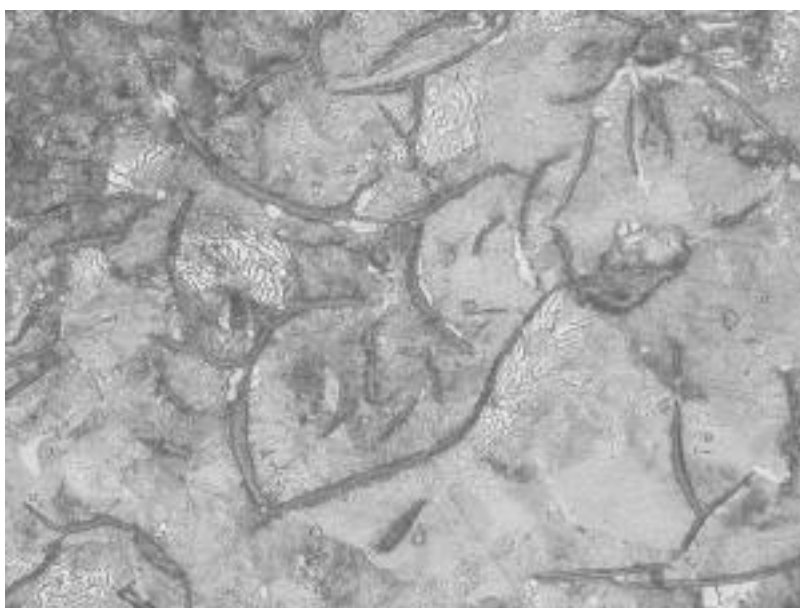
#### 4.3.3 Vzorky z 3. odlitku (očkovadlo SB 5 GSK – 0,25 % hmot. tav.)

Tab. 4.13 Zastoupení perlitu a feritu

Vzorek č.	Tloušťka odlitku [mm]	Perlit [%]	Ferit [%]
3-1	6	98	2
3-7	28	96	4



Obr. 4.15 Vzorek č. 3-1 – tl. 6 mm (leptáno 2 % nital, zvětšeno 200 x)



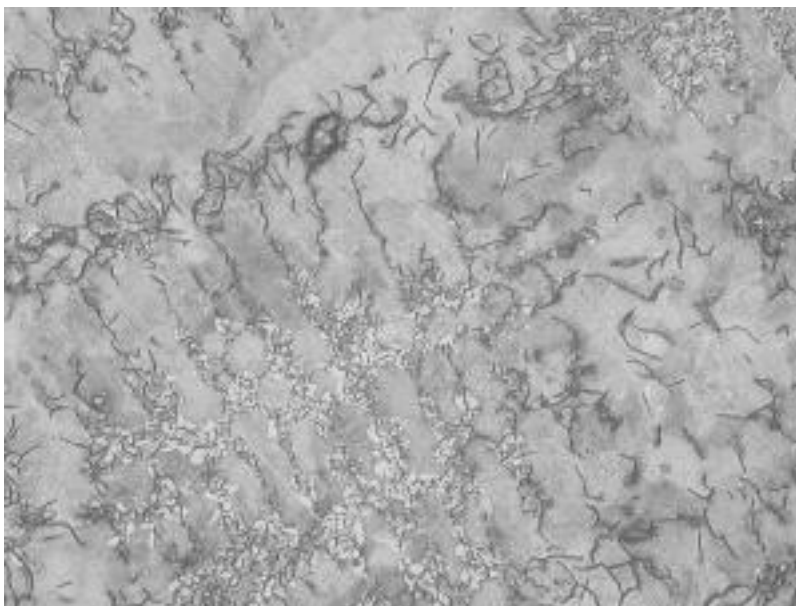
Obr. 4.16 Vzorek č. 3-7 – tl. 28 mm (leptáno 2 % nital, zvětšeno 200 x)

#### 4.3.4 Vzorky z 4. odlitku (očkovadlo CSF 10 GSK – 0,05 % hmot. tav.)

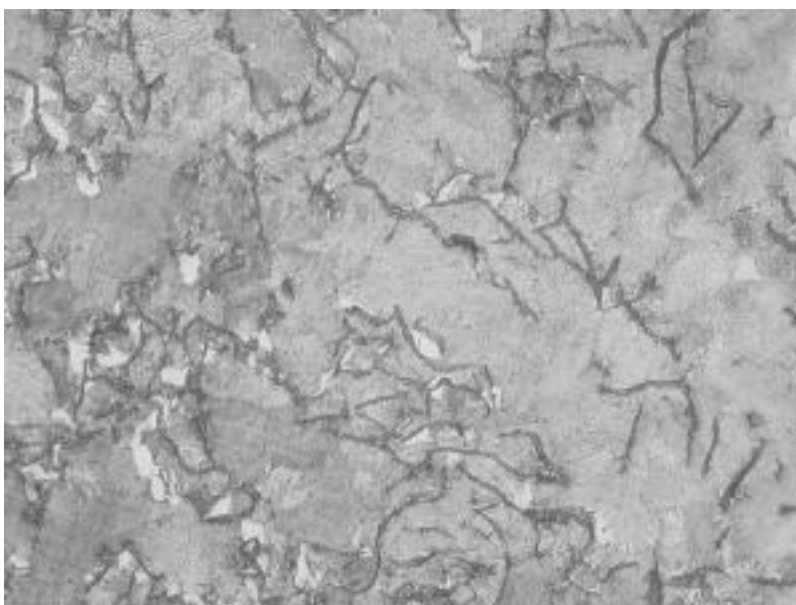
Tab. 4.14 Zastoupení perlitu a feritu

Vzorek č.	Tloušťka odlitku [mm]	Perlit [%]	Ferit [%]
4-1*	6	91	9
4-7	28	90	10

\* ojediněle výskyt ledeburitu



Obr. 4.17 Vzorek č. 4-1 – tl. 6 mm (leptáno 2 % nital, zvětšeno 200 x)



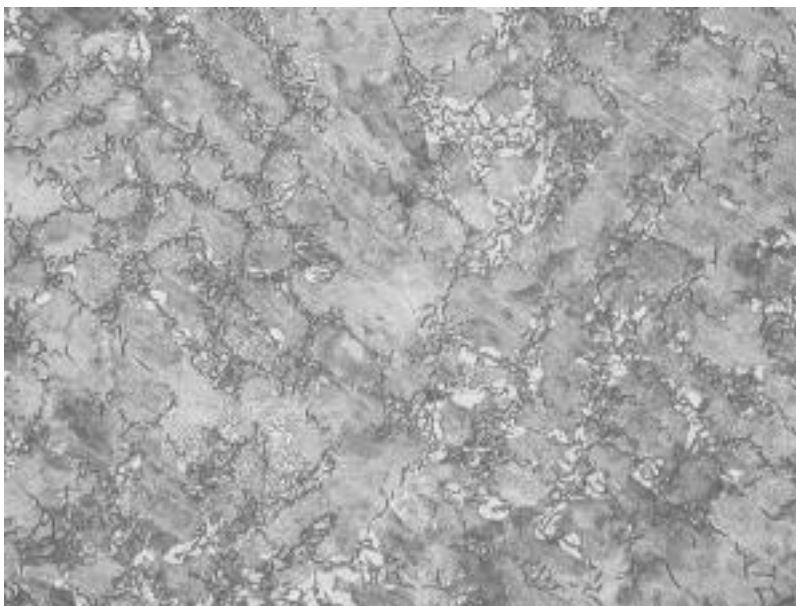
Obr. 4.18 Vzorek č. 4-7 – tl. 28 mm (leptáno 2 % nital, zvětšeno 200 x)

#### 4.3.5 Vzorky z 5. odlitku (očkovadlo CSF 10 GSK – 0,25 % hmot. tav.)

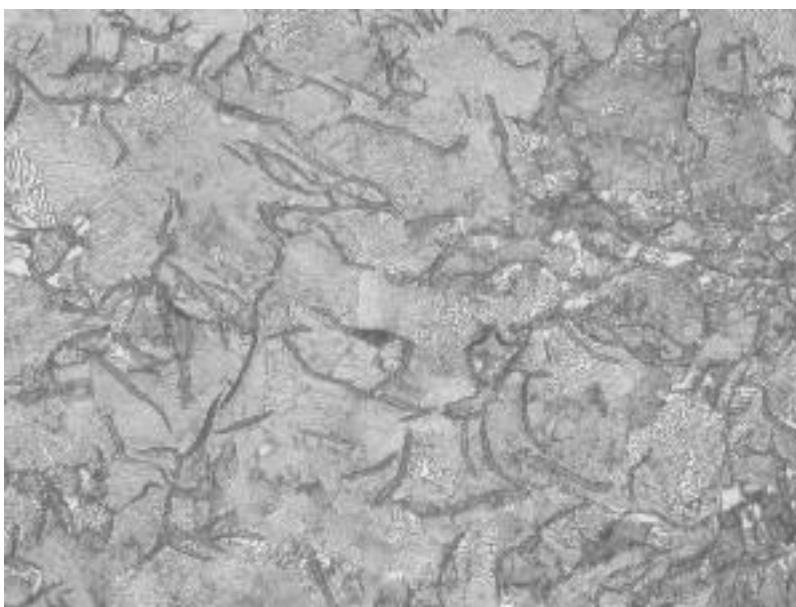
Tab. 4.15 Zastoupení perlitu a feritu

Vzorek č.	Tloušťka odlitku [mm]	Perlit [%]	Ferit [%]
5-1*	6	85	15
5-7	28	90	10

\* ojediněle výskyt ledeburitu



Obr. 4.19 Vzorek č. 5-1 – tl. 6 mm (leptáno 2 % nital, zvětšeno 200 x)



Obr. 4.20 Vzorek č. 5-7 – tl. 28 mm (leptáno 2 % nital, zvětšeno 200 x)

## 5 Diskuse

Na TU v Liberci bylo provedeno odlévání a příprava zkušebních odlitků, měření a zaznamenání naměřených hodnot tvrdosti, tvaru, rozložení a velikosti grafitu, zjišťování struktury zkušebních odlitků z hlediska výskytu feritu a perlitu, jejich vyhodnocení a následné porovnání výsledků v grafech a tabulkách. Celkem bylo vytvořeno pět odlitků, k jejichž očkovaní byly použity dva druhy očkovaadel (SB 5 GSK a CSF 10 GSK) v různém množství.

Z naměřených hodnot vyplývá, že čím menší je tloušťka odlitku, tím větší je tvrdost. Tato úměra platí v případě neočkovaného i očkovaných odlitků. Největší tvrdost 322,3 HBW 2,5/187,5 byla naměřena u neočkovaného odlitku s nejmenší tloušťkou (6 mm). Naměřené hodnoty v tloušťce 28 mm u odlitků 1-5 se příliš nelišily, jejich průměrná hodnota tvrdosti byla 237,7 HBW 2,5/187,5 (směr. odchylka 4,1). Očkováním odlitku při použití menšího množství očkovaadla SB 5 GSK (0,05 % hmot. tav.) se snížila tvrdost na všech měřených tloušťkách odlitku, ale k většímu poklesu tvrdosti došlo u dvou nejmenších (tl. 6 a 10 mm) na hodnoty 288,3 a 265,0 HBW 2,5/187,5. Při použití většího množství očkovaadla SB 5 GSK (0,25 % hmot. tav.) se snížila tvrdost, ale tloušťka materiálu ovlivnila naměřenou tvrdost minimálně. Rozdíl tvrdosti mezi tl. 6 a 28 mm činí 22,7 HBW 2,5/187,5. Použitím očkovaadla CSF 10 GSK (0,05 % hmot. tav.) poklesla tvrdost na všech měřených tloušťkách, k většímu poklesu tvrdosti došlo u dvou nejmenších (tl. 6 a 10 mm) na 294,7 a 276,7 HBW 2,5/187,5. Nebyl však zaznamenán rozdíl v tvrdostech při použití menšího a většího množství očkovaadla CSF 10 GSK.

U neočkovaného i očkovaných odlitků bylo zjištěno, že čím větší je tloušťka, tím větší je velikost grafitu. Se zvětšující se tloušťkou odlitku se rozložení grafitu stává rovnoměrnější. Tloušťka odlitku neměla vliv na tvar grafitu. Měření potvrdilo, že použitím vhodného očkovaadla v odpovídajícím množství (SB 5 GSK – 0,25 % hmot. tav.) dojde i v odlitku s nejmenší tloušťkou k rovnoměrnému rozložení grafitu.

Při pozorování struktury nenaočkovaného odlitku bylo zjištěno, že kromě perlitu a feritu se vyskytuje ve struktuře ve značném množství i ledeburit (tzv. zákalka), což souvisí s rychlým odvodem tepla v tenkých průřezích, proto tento odlitek vykazuje nejvyšší zaznamenanou tvrdost. Po použití očkovaadel obou druhů byl v nejmenší tloušťce zaznamenán také výskyt ledeburitu, kromě případu, kdy bylo k naočkování použito očkovaadlo SB 5 GSK ve větším množství (0,25 % hmot. tav.). Vznik ledeburitické struktury v případě použití očkovaadla SB 5 GSK u 2. odlitku souvisí s jeho malým množstvím (0,05 % hmot. tav.).

Při použití očkovaadla SB 5 GSK bylo dosaženo optimálního rozložení grafitu (typ A – grafit rovnoměrně rozložený), vyhovující velikosti grafitu (A 4-6), nulového výskytu ledeburitu a s tím souvisejících minimálních rozdílů tvrdosti odlitku v různých tloušťkách. Optimální rozložení a jeho velikost zvyšují mechanické vlastnosti odlitku.

Při použití očkovaadla CSF 10 GSK se nepodařilo dosáhnout požadovaných vlastností odlitku z hlediska tvrdosti, struktury grafitu a matrice, kde byl zaznamenán i velký výskyt ledeburitu. Pravděpodobnou příčinou tohoto stavu bylo nevhodné zvolení očkovaadla, jeho použitého množství, popřípadě jeho zrnitosti. Může se však také jednat o malé množství taveniny, očkované použitým množstvím.

## 6. Závěr

1. Cílem bakalářské práce bylo posoudit vliv očkovaní na vnitřní kvalitu odlitků. V teoretické části jsou charakterizovány litiny, jejich rozdělení a značení. Převážná část je věnována litinám grafitickým, zejména litině s lupínkovým grafitem, její struktuře, krystalizaci, očkovaní a použití na brzdové bubny automobilů.
2. V praktické části byly analyzovány metalurgické postupy ve firmě ŠKODA AUTO a.s. a bylo uvedeno hodnocení kvality odlitků, prováděné v uvedené firmě.
3. Na TU v Liberci, ve slévárenské laboratoři KST, byly zhotoveny zkušební odlitky. Vratný materiál a očkovač, použité k jejich zhotovení, byly převzaty ve firmě ŠKODA AUTO a.s. Na KMT byl sledován vliv dávkování a druhu očkovačů na vnitřní kvalitu zkušebních odlitků, tzn. byla zjišťována struktura grafitu a matrice.
4. Na základě získaných výsledků lze doporučit provádět očkovaní materiálu EN-GJL-250 do proudu kovu očkovačem SB 5 GSK v množství 0,25 % hmot. taveniny, zrnitosti 0,6 – 3 mm a při teplotě 1400 °C. Lepších výsledků očkovaní by se dosáhlo použitím minimálního množství taveniny o váze 50 kg, aby se mohl lépe sledovat vliv dávkování a druh očkovačů. Tento aspekt nemohl být splněn z provozních důvodů.

## 7. Použitá literatura

- [1] NOVÁ, Iva. Teorie slévání II.. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2007. 169 s.
- [2] SKOČOVSKÝ, Petr; PODRÁBSKÝ, Tomáš. Grafické liatiny. Žilina : EDIS, 2005. 168 s.
- [3] ROUČKA, Jaromír. Metalurgie litin. Brno : Fakulta strojní VUT v Brně, 1998. 166 s.
- [4] GEDEONOVÁ, Zora; JELČ, Imrich. Metalurgia liatin. Košice : HF TU v Košiciach, 2000. 288 s.
- [5] PLUHAR, Jaroslav a kol. Nauka o materiálech. Praha : SNTL, 1989. 552 s.
- [6] NOVÁ, Iva; NOVÁKOVÁ, Iva; BRADÁČ, Jiří. Technologie I.. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2006. 166 s.
- [7] SLOVÁK, Stanislav; RUSÍN, Karel. Teorie slévání. Praha : SNTL, 1990. 231 s.
- [8] ČSN EN ISO 945. Litina. Určení mikrostruktury grafitu. Brno : NSS spol. s r.o., 1.8.1996. 16 s.
- [9] ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav. Firemní podklady.
- [10] POST, Wulf; SCHMIDT, Günther; KANT, Bernhard. Konvenční a elektronické brzdové soustavy. Stuttgart : Robert Bosch GmbH, 2001. 134 s.
- [11] PILÁRIK, Milan. Automobily pro 2. a 3. ročník SOU. Praha : SNTL, 1984. 308 s.
- [12] Ottova všeobecná encyklopedie ve dvou svazcích. Praha : Ottovo nakladatelství s.r.o., 2003. 1486 s.
- [13] FLEMR, Vratislav; DUŠEK, Bohuslav . Chemie obecná a anorganická I pro gymnázia. Praha : SPN a.s., 2007. 120 s.
- [14] DOUŠOVÁ, Barbora. Stručné dějiny oborů (chemie, ekologie, sklářství). Praha : Scientia, spol. s.r.o., 2003. 36 s
- [15] Malá ilustrovaná encyklopedie. Český Těšín : Levné knihy KmA, s.r.o., 1996. 1213 s.
- [16] Rozum do kapsy - malá encyklopedie. Praha : Albatros, 1988. 607 s.
- [17] HOLANEC, Václav a kol. Nový rozum do kapsy - Kultura a společnost. Praha : Albatros, 2004. 398 s.
- [18] CALDA, Emil a kol. Nový rozum do kapsy - Věda a příroda. Praha : Albatros, 2004. 398 s.
- [19] Starověké civilizace - školní encyklopedie. Praha : Svojtka a spol., 2003. 290 s.